

JuniorAkademie Adelsheim

17. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2019



Astronomie



Biologie



Informatik



Mathematik



Philosophie



TheoPrax

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2019**

**17. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2019:

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

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de

monika.jakob@scienceacademy.de

rico.lippold@scienceacademy.de

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 17. JuniorAkademie Adelsheim 2019 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2019 Jörg Richter, Dr. Monika Jakob

Vorwort

Rund 100 verschiedene „Elemente“ versammelten sich im Juni 2019 am Landesschulungszentrum für Umwelterziehung in Adelsheim, die 17. Science Academy Baden-Württemberg konnte beginnen. Am Eröffnungswochenende lernten wir uns kennen: Teilnehmerinnen und Teilnehmer sowie das gesamte Leitungsteam. Während der Sommerakademie entstanden aus den unterschiedlichen Elementen immer neue Verbindungen, und so entwickelte sich eine einzigartige Atmosphäre. Mit dem Schreiben dieser Dokumentation hielten wir am Abschlusswochenende neben den fachlichen Ergebnissen auch alle unsere persönlichen Erlebnisse fest.

Anlässlich des diesjährigen Jahrs des Periodensystems stand die Akademie unter dem Motto „Elemente“. Das Motto gibt durch verschiedene Aktionen und Aufgaben immer wieder Anlass zum Nachdenken und Reflektieren über die sehr intensive gemeinsame Zeit mit vielen neuen Erkenntnissen und Eindrücken.



In den sechs Kursen beschäftigten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer mit dem Mond, nachhaltigen Medikamenten, Verschlüsselungsmethoden, mathematischer Magie und Kältemaschinen. Dabei probierten sie viele neue Methoden aus, erhielten einen Einblick in das wissenschaftliche Arbeiten und trainierten persönliche Fähigkeiten wie Teamwork, Präsentieren, Projektmanagement und vieles mehr.

Allerdings bestand die gesamte Akademiezeit neben den Kursen auch aus verschiedenen anderen Elementen wie den kursübergreifenden Angeboten, dem Sportfest, dem Wandertag und noch vielen weiteren gemeinsamen Aktionen.

VORWORT

Insgesamt entstand so die einzigartige Akademieatmosphäre, welche für neue Freundschaften, aber auch den ein oder anderen Ohrwurm sorgte.

Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Lesen und Stöbern, viele schöne Einblicke in unsere Akademiezeit und hoffen, dass Ihr Euch noch lange an die einzigartige gemeinsame Zeit erinnert!

Eure/Ihre Akademieleitung



Ranran Ji (Assistenz)



Lorenz Löffler (Assistenz)



Dr. Monika Jakob



Jörg Richter

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	7
KURS 2 – BIOLOGIE	31
KURS 3 – INFORMATIK	51
KURS 4 – MATHEMATIK	71
KURS 5 – PHILOSOPHIE	87
KURS 6 – THEOPRAX	117
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	139
DANKSAGUNG	155
BILDNACHWEIS	156

Kurs 6 – TheoPrax: Kühlen mit Wärme



Aus heiß mach kalt

KAI, JONAS

Kühlen mit Wärme – wie kann das funktionieren? Dieser paradoxen Frage hat sich der diesjährige TheoPrax-Kurs gestellt. Fakt ist: Die Sommer werden zunehmend heißer und immer mehr Menschen nutzen eine Klimaanlage. Es ist ja auch angenehm, in einer kühlen Umgebung zu arbeiten bzw. in der Wohnung im Sommer eine angenehm kühle Temperatur genießen zu können. Das Problem an herkömmlichen Kompressionskältemaschinen ist allerdings, dass diese Maschinen sehr viel elektrische Energie benötigen: Laut Internationaler Energieagentur verbrauchen Klimaanlagen bereits ein Zehntel des weltweit erzeugten Stroms!

Unser Kurs hatte sich daher zum Ziel gesetzt, selbst eine stromsparende Kühlanlage in Form einer Adsorptionskältemaschine (AKM) zu bauen, die die Energie nicht aus elektrischem Strom bezieht, sondern aus Wärme. Wärme ist in vie-

len Bereichen noch ungenutzt, was sich mit Adsorptionskältemaschinen ändern ließe. Diese Form der Energie lässt sich zusätzlich sehr einfach mit Solarkollektoren gewinnen.

Unseren Auftrag zum Bau einer Modell-AKM für Ausstellungen und Messen erhielten wir von Herrn Christian Teicht, der am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal arbeitet. In den zwei Wochen der Akademie haben wir uns – nach viel Theorie zu Projektmanagement und den Grundlagen einer AKM – dem Bau einer eigenen Anlage gewidmet. Wir haben uns in drei Gruppen aufgeteilt, die sich auf verschiedene Gebiete spezialisiert haben, und in denen wir Versuche zum Adsorptionsverhalten unseres Zeoliths gemacht haben. Wir haben gegrübelt, gesägt, geknetet, geschraubt, geflucht und gejubelt. In den zwei Wochen haben wir gemeinsam eine aufregende

Berg- und Talfahrt erlebt, und standen schließlich pünktlich zum Stichtag auf der Bergspitze vor unserem funktionstüchtigen Produkt.

14 Menschen – 1 Team

KARINA, BENEDIKT

Unser Team bestand zunächst aus elf Teilnehmenden, die wiederum in drei Gruppen eingeteilt wurden: Kernkomponenten, Vakuumtechnik und Messtechnik/Didaktik. Unterstützt wurde das Team von zwei Kursleitern und einer Schülermentorin.

Team Kernkomponenten

Das Team Kernkomponenten, bestehend aus Saskia, Kai, Simon, Jonas und Max, waren für unsere Hauptbauteile sowie deren Anordnung zuständig.

Saskia zeigte in jedem Bereich großes Engagement und Fleiß. Ihre Werkzeuge: die (Holz-)Säge und der 3D-Drucker. Durch ihre riesige Leistungsbereitschaft, ihr ermunterndes Lächeln und ihren unerschöpflichen Ideenreichtum wurden ausweglos scheinende Probleme kinderleicht und locker bewältigt. Ihre Motivation und Eigeninitiative steckten den gesamten Kurs an, sodass in ihrer Nähe eine entspannte und effiziente Arbeitatmosphäre entstand. Saskia scheute sich nie vor Arbeit und konnte ihre Begeisterung im Orchester als Violinistin und sogar als Dirigentin ausleben.

Kai war „die Ruhe selbst“ und behielt in jeder stressigen Situation einen kühlen Kopf sowie seinen unübertrefflichen Humor. Inzwischen hat er sogar einen eigenen Song. Zusammen mit ihm wuchs das Team zu einer Einheit mit den meisten Insidern innerhalb des Kurses zusammen. Seine sehr risikoreichen Ideen setzte er topmotiviert durch, sodass jeder am Abend über einen implodierten Versuchsaufbau aufgrund undichter Vakuumknete lachen konnte.

Simon punktete mit seiner immer fröhlichen Art und seinem ansteckenden Lächeln. Er zeigte sich als sehr hilfsbereites und fleißiges

Mitglied, sodass er immer um Hilfe gebeten werden konnte. Er war der geborene Macher und blühte besonders im praktischen Teil richtig auf. Auch er konnte bald den JESUS-Tanz performen und singen und pflanzte den Ohrwurm immer mehr Teilnehmenden ein.

Jonas brachte einen enormen Wissensstand in den Kurs ein. Mit seiner ruhigen Art und mithilfe seines bezaubernden Lächelns und angenehmen Redeweise konnte er die Herzen aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Kurs erobern. Nicht nur im Kurs, sondern auch in der Zeitungs-KüA überzeugte er uns mit seinem Engagement und seinen Ideen.

Max zeigte im Kurs seinen Humor und mit ihm gab es immer etwas zu Lachen. Er brachte gerne Ideen ein und so erhielt unser Traumentwurf der Maschine nicht nur einen Schokobrunnen und ein Becken mit Würstchenwasser, sondern auch einen externen Wasserkreislauf. Mit seinem Talent zum Präsentieren konnte er nicht nur im Kurs, sondern auch beim PowerPoint-Karaoke glänzen.

Team Vakuumtechnik

Ellen, Benedikt und Karina bildeten das Team Vakuumtechnik. In Kooperation mit der Kernkomponentengruppe wurden die einzelnen Bauteile angefertigt und die Maschine abgedichtet.

Ellen zeigte schon vor Beginn der Akademie einen bemerkenswerten Fleiß in der Recherche. Unter ihren Fingern entstanden in Windeseile die Texte für den Abschlussbericht, an denen sie unermüdlich feilte. Während der Arbeit war ihre Begeisterung am Ausprobieren, Bauen und Messen an ihren leuchtenden Augen deutlich zu erkennen. Auch in der Theater-KüA hat ihre Leidenschaft zum Schauspielen das Publikum am Abschlussabend als Hercule Poirot, dem belgischen(!) Detektiv, begeistert.

Benedikt ist die Person, die den Kaffee wohl am zweitmeisten vermisste. Obwohl wir unter hohem Zeitdruck standen, schaffte der Meister der Satzzeichen es immer, eine Toffeepackung leer zu essen oder einen Tee zu

sippen. Mit seiner lässigen Art und seinem durchgängigen Humor gingen Phrasen wie „Sheeshpringer“ durch die ganze Akademie, sodass Benedikt ein allseits bekannter Teilnehmer wurde. Während der Arbeit konnte jeder mit ihm neue Rumba-Figuren oder auch den Mathetanz lernen.

Karina konnte mit ihrer fröhlichen Art und ihrem großen Engagement überzeugen. Ob in der Arbeit in der Gruppe oder beim Zusammenbauen der Maschine war sie immer eifrig dabei und legte nicht selten ein Tänzchen aufs Parkett. Wenn sie nicht gerade dabei war die Kühlbox zu bauen, das Kurs T-Shirt zu designen oder an Maschine und Präsentation zu werkeln, war sie mit einem ordentlichen Lachflash vorzufinden, von dem zwangsläufig jeder angesteckt wurde.

Team Messtechnik und Didaktik

Zum Team Messtechnik und Didaktik gehörten Joelle, Lukas und Lukas. Zusammen bildeten sie ein harmonisch agierendes Team, welches das Unmögliche möglich machte: Am Ende der Akademie zeigten die Sensoren kaum abweichende Live-Messdaten in einer anschaulichen Präsentation an.

Joelle war ein ruhiges, sehr nettes, kluges und geschätztes Mitglied unseres Kurses. Ihre vorausschauende und überlegte Art brachte viel Ruhe und Ordnung. Sie war sowohl am Bau der Maschine, als auch am Programmieren der Sensoren immer fleißig dabei. So kam es, dass sie in der Regel weit vor der Deadline mit den Recherche- und Schreibaufträgen fertig war. Egal wo es hakte, sie war stets zur Stelle und half in jedem möglichen Bereich.

Lukas K. ist unser Retter, wenn es ums Thema Computer geht. Jeden Computer, jeden Beamer und jedes technische Gerät bekam er zum Laufen, egal wie aussichtslos der Blick auf den Bildschirm eines Laptops aussah. Er konnte jede Situation erklären und zusammenfassen.

Lukas G. erarbeitete in einer kurzen Zeit gemeinsam mit Lukas K. unglaubliche Ergeb-

nisse. Mithilfe seiner selbsterlernten Computerfähigkeiten erstellte er eine interaktive PowerPoint-Präsentation mit allen erdenklichen Animationen. Nicht nur bei der Didaktik unserer Maschine und mit seiner unvergleichlichen Art zu erklären, sondern auch als Gitarrist in der Jazzband und dem Orchester der Akademie konnten seine Fingerfertigkeiten gesehen werden und hören. Nebenbei sorgte Lukas immer für gute Laune, sei es durch Witze, einen albernen Tanz mit seinen Freunden oder ein Namensschildtausch mit dem anderen Lukas.

Kursleiter und Schülermentoren

Und zu guter Letzt kommen wir zu unseren Kursleitern, die uns durch die Arbeit und Probleme geführt haben. Ohne ihre Hilfe könnten wir jetzt nicht so stolz auf unsere dichte Maschine schauen:

Matthias war unsere gute Fee, der Fels in der Brandung, der die Mannschaft bei Sturm und Sonne sicher zum Ziel führte, falls wir uns mal wieder in unserem Übereifer verannten. Er war unser Hüter der Deadlines, die wir mit seiner Fürsorge sicher überwandten. Keine Frage war ihm zu kompliziert, keine Mittagspause war ihm zu schade für zusätzliche Arbeit. Bei seiner kreativen Art wurde aus dem ägyptischen Schwebelholz schon mal ein australisches Wackelholz. Mit der Fotokamera in seiner Hand hielt er alle schönen und vor allem witzigen Schnappschüsse während der Projektarbeit, im Kurs oder auch während der Teambuilding-Übungen für die Ewigkeit fest.

Moritz konnte uns mit seinem Fachwissen zum Thema Projektmanagement super in das Thema einführen. Auch seine konstruktive Kritik und sein Lob erzielten stets ihre motivierende Wirkung. Sein Sinn für Humor, seine spontane Art, sein Musikgeschmack und auch seine Sprüche lockerte die Projektarbeit noch weiter auf. Und falls wir vor lauter Arbeitseifer mal wieder die Zeit aus den Augen verloren, erinnerte er uns mit einem beschwingten „Kinder, liebe Kinder,

kommt ihr bitte“ daran, dass auch TheoPraxler hin und wieder pünktlich zu den Mahlzeiten erscheinen sollten – Blupp nice.

Lorina ist unsere Stimmungsmacherin, denn egal was sie sich für Spiele ausdachte, was sie als nächstes bastelte, machte oder sagte, es wirkte sich sehr positiv auf die Atmosphäre im Kurs aus. Ihr gezeichnetes Rama-Lama-Ding-Dong-Einhorn schaffte es nicht nur an unsere Kurstür, sondern auch auf das Akademie-T-Shirt. Ihre erfrischende und witzige Art erheiterte jeden Tag den Kursraum. Bei ihr war in jeder komplizierten Situation ein offenes Ohr, eine ermunternde Phrase oder ein belebendes Lächeln zu finden.



Der Kurs TheoPrax und die fertige Maschine

Was ist TheoPrax?

JONAS, SASKIA

Der Name lässt erraten, dass bei TheoPrax Theorie und Praxis gleichermaßen vertreten sind, allerdings steckt noch viel mehr dahinter: TheoPrax ist eine Lehr- und Lern-Methodik, die vom Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (Fraunhofer ICT) entwickelt wurde. Das Ziel ist, bei Jugendlichen die Motivation zum Lernen vor allem in naturwissenschaftlichen und technischen Themengebieten zu steigern. Dafür bearbeiten die Jugendlichen im Team ein Projekt mit Ernstcharakter zu einem aktuellen wissenschaftlichen Anliegen und agieren wie eine kleine Firma. So arbeiten sie im Angebots- und Auftrags-Verhältnis zusammen mit einem Auftraggeber. Dabei wird

zunächst ein Angebot an den Auftraggeber, in unserem Fall das Fraunhofer ICT erstellt. Nach erfolgter Beauftragung geht es sofort in die Realisierungsphase. Um ihr Projekt erfolgreich abzuschließen zu können, erlernen die Teilnehmenden zunächst die Grundlagen eines erfolgreichen Projektmanagements, da dies ein wichtiger Bestandteil der Projektarbeit ist. Auch die wissenschaftlichen und technischen theoretischen Grundlagen des Projekts müssen zunächst erlernt und berücksichtigt werden. Dann können die erlernten einzelnen Arbeitsschritte direkt in die Praxis umgesetzt werden: Zunächst wird das Projektmanagement abgeschlossen, dann geht es an die praktische Umsetzung, in unserem Fall den Bau der Ad-sorptionskältemaschine.

Durch die Vielfältigkeit der Aufgaben zur Bewältigung eines Projektes lernen die Schüler und Schülerinnen, in Zusammenhängen zu denken, zu handeln und sich selbständig Wissen anzueignen. Dadurch können sie ein problemorientiertes Arbeiten in der Praxis ausführen, denn in der Projektarbeit werden die überfachlichen Kompetenzen gestärkt und das unternehmerische Denken und Handeln gefördert.



Produktiver Ideenaustausch.

Eröffnungswochenende – das erste Treffen

LUKAS

Der Startschuss der Sommerakademie fiel bereits einige Wochen vorher. Das Eröffnungswochenende fand vom 28.–30. 6. 2019 statt. Dort

haben wir uns zum ersten Mal getroffen, uns kennengelernt und wurden mit unserer Aufgabe vertraut gemacht.

Nach dem allgemeinen Einführungsteil trafen wir uns in den einzelnen Kursen und konnten die anderen TheoPraxler und TheoPraxlerinnen im Rahmen toller Spiele kennenlernen. Das war besonders interessant und bedeutend für uns, denn gemeinsam sollten wir zwei Wochen der Sommerferien miteinander verbringen.

In der abendlichen Kurs-Schiene erklärten uns unsere beiden Kursleiter Mattias und Moritz, was auf uns zukommen würde und vor allem, was „TheoPrax“ überhaupt bedeute.

Am nächsten Tag kam unser Auftraggeber Christian Teicht vom Fraunhofer ICT vorbei und erklärte uns das Konzept „Kühlen mit Wärme“. Im Anschluss daran haben wir uns im Labor durch diverse Experimente mit dem Idealen Gasgesetz, der Ad-/Desorption, und mit Zeolithen auseinandergesetzt. Am Samstagnachmittag ging es weiter mit dem Thema Teamarbeit, wobei es wichtig war, Teamrollen kennenzulernen und die Teameinteilung zu erarbeiten. Dazu kam noch ein bisschen Theorie, die sich am Sonntagmorgen fortgesetzt hat.

Zusätzlich wurde uns ein Termin bekanntgegeben, die Exkursion zum Fraunhofer ICT. Dort würden wir die physikalischen und chemischen Prinzipien, die hinter unserem Thema bzw. Auftrag standen, besser verstehen und dem Auftraggeber weitere Fragen stellen können.

Mit Vorfreude auf die Akademie, aber auch mit einem etwas mulmigen Gefühl, fuhren wir wieder nach Hause, da noch viel Arbeit auf uns wartete: So sollten wir uns zu Hause einen Großteil der Theorie selbst aneignen und den Bauplan für unsere spätere Adsorptionskältemaschine entwerfen. Außerdem sollten wir in drei Untergruppen eine jeweils 30-minütige Präsentation vorbereiten, um alle anderen im Kurs auf den gleichen Wissensstand zu bringen.

Exkursion zum Fraunhofer ICT

ELLEN, JOELLE

Kaum war das Eröffnungswochenende verstrichen, trafen sich die Teilnehmer des TheoPrax-

Kurses am 15.07.2019 auch schon wieder zur kurseigenen Exkursion am Fraunhofer ICT. An diesem Tag machten sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer unseres Kurses meist schon früh morgens auf den langen Weg zum Fraunhofer Institut auf dem Hummelberg in Pfinztal. Während einige von uns den Komfort genießen konnten, mit dem Auto gefahren zu werden, gab es andere, die sämtliche Hürden und Unannehmlichkeiten der Bahn auf sich nehmen mussten und schon bei der Ankunft an der niedlichen S-Bahn-Station Berghausen Hummelberg genug Abenteuer für einen Tag erlebt hatten. Als alle Teilnehmenden nach gewissen Zugausfällen, Verspätungen und spontanem Sprinten durch Bahnhofshallen angekommen waren, konnte die eigentliche Exkursion endlich beginnen.

Während des Aufstiegs auf den Berg, auf dem das Fraunhofer ICT thront, stach uns als Erstes das große Windrad ins Auge. Angetrieben von diesem Ziel schafften wir die letzten Meter „mit Klacks“ und es ging ohne Umwege ins Labor unseres Auftraggebers Herrn Christian Teicht. Er erklärte uns eine riesige Maschine zur Druckmessung, und stellte erste Materialien und Geräte vor, die für die Umsetzung unseres Projekts eine Rolle spielen würden. So zeigte er uns beispielsweise Bauteile des Kleinflansch-Systems, erläuterte Möglichkeiten für die Umsetzung eines Kondensators und für die Befestigung der einzelnen Komponenten unserer Maschine.

In der Mittagspause konnten wir uns mit einigen Stücken Pizza stärken. Bei den dabei entstandenen Gesprächen lernten wir uns als Gruppe besser kennen und tauschten uns über die bevorstehende Akademie und die anstehenden Vorbereitungen aus. Nach einem spontanen Pizzawettbewerb konnte die Besichtigung des Instituts weitergehen.

Wir wurden von weiteren Mitarbeitern des Fraunhofer ICT durch große Hallen geführt, die noch immer für den Tag der offenen Tür am Tag zuvor hergerichtet waren. Anhand riesiger Maschinen wurde uns der Herstellungsprozess von Polystyrol nähergebracht und wir konnten beobachten, wie kleine, bunte Kreisel spritzgepresst und auf dem Laufband in

Kisten transportiert wurden. Als Andenken durfte schließlich jeder einen Kreisel und eine ebenso spritzgepresste Frisbee mit nach Hause nehmen.

Zu guter Letzt wurden wir in die neuste Forschungsabteilung des Instituts geführt, die noch nicht vollständig ausgebaut, aber trotzdem sehr interessant war. In meterlangen Rohren wurden dort extrem hohe Drücke erzeugt und die Sicherheit und Druckbeständigkeit von Bauteilen geprüft.

Am Ende der Exkursion tauschten wir uns noch über unsere bisherigen Rechercheergebnisse aus, bevor wir uns schließlich alle wieder auf den Rückweg machten.

Da die Exkursion im Gegensatz zu den Exkursionen der anderen Kurse nicht während der Akademiezeit stattfand, bot sie eine sehr gute Möglichkeit zum besseren Kennenlernen und Austauschen und hat somit die Vorfreude auf die eigentliche Sommerakademie nochmal gesteigert.



Motivation bei der Exkursion.

Projektmanagement

JOELLE, BENEDIKT

Unsere Aufgabe im TheoPrax Kurs war es, eine Adsorptionskältemaschine unter realen Bedingungen zu bauen und in Betrieb zu nehmen, die bei Messen zu Demonstrationszwecken eingesetzt werden kann. Dazu zählten nicht nur die Praxis, also das Schrauben, Sägen, Kleben, Löten, Verkabeln und Abdichten der Maschine mit ihren Komponenten und Elektronikbestandteilen, sondern auch die zweite Hälfte

der TheoPrax-Methode: Die Theorie. Darunter verstanden wir neben den theoretischen, physikalischen Grundlagen der Adsorptionskältemaschine unter anderem auch das Projektmanagement.

Planen, planen, planen . . .

Bei einem Projekt steht eine ordentliche Planung an oberster Stelle, und nimmt viel Zeit in Anspruch. Das Projektmanagement beschäftigte uns über die ganze Akademiezeit hinweg, vor allem aber am Eröffnungswochenende, bei der Exkursion und an den ersten Tagen der zwei Sommerwochen.



Projektstruktur ist immer wichtig

Risikoanalysen, Projektstrukturpläne und Co.

Wir erstellten Risikoanalysen, in denen verschiedene Risiken in Wahrscheinlichkeiten des Eintretens („kaum“, „möglicherweise“ und „ziemlich sicher“) und auch in deren Auswirkungen im Falle des Eintretens („Verkraftbar“, „Rückschlag“ und „Erfolgsgefährdend“) eingestuft wurden. Ein Beispiel dafür wäre, dass wir das Risiko, dass ein Teammitglied ausfällt, in die Kategorien „verkraftbar“ und „ziemlich sicher“ einstuften. Unter Berücksichtigung dieser Risiken konnten wir dann Vorsichtsmaßnahmen einplanen. Es stellte sich aber heraus, dass wir einige Risiken falsch bewertet hatten, denn ironischerweise sind vier Teammitglieder gleichzeitig ausgefallen, sodass die Auswirkungen eher in die Kategorie „Rückschlag“ gehört hätten.

Außerdem erstellten wir einen Projektstrukturplan, in dem genau beschrieben wurde, welche Arbeitspakete von wem, zu welchem Zeitpunkt



So hat noch niemand ein Zelt aufgebaut! Zum Glück hat es nicht geregnet.

ankommt, sich möglichst präzise und sachlich auszudrücken und sich in die Rolle des anderen hineinzusetzen.

Am Ende der zwei Wochen hatten wir die „Muss“-Ergebnisse sowie ein paar der „Kann“- und „Soll“-Ergebnisse erreicht. Wir können sicherlich sagen, dass dieses Resultat ohne den Einsatz der praktizierten Projektmanagement-Methoden nicht erreichbar gewesen wäre.

Theoretische Grundlagen

LUKAS, ELLEN

Adsorption/Desorption

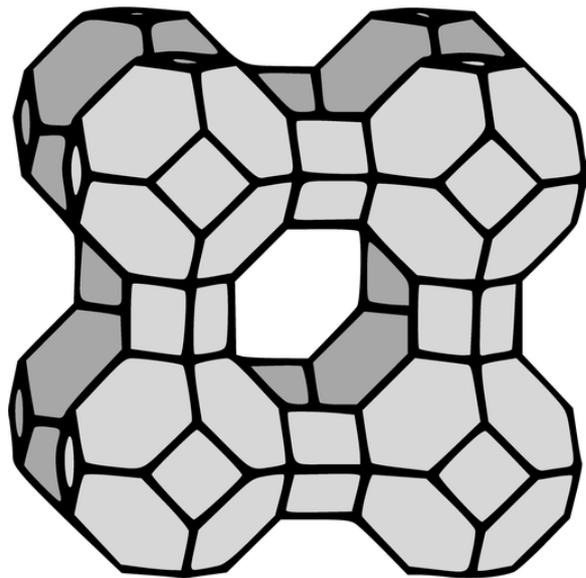
Adsorption bezeichnet die Anlagerung von flüssigen oder gasförmigen Stoffen an Oberflächen. Für dieses Prinzip sind zwei Arten von Stoffen verantwortlich. Das Adsorbat (in unserem Fall Wasser) lagert sich am Adsorptionsmittel (in diesem Fall Zeolith) an. Bei der Adsorption wird das Adsorbat durch Van-der-Waals-Kräfte bzw. elektrostatische Wechselwirkungen an der Oberfläche des Zeoliths gehalten. Dabei werden Adsorptionenthalpie sowie die Verdampfungsenthalpie des Wassers frei. Dieser Vorgang ist exotherm, daraus folgt, dass der Zeolith in der AKM warm wird.

Die Desorption bezeichnet den Umkehrvorgang der Adsorption, bei dem sich das Wasser wieder von der Oberfläche des Zeoliths löst. Um dies zu erreichen, muss Energie zugeführt werden, damit sich die physikalischen Bindungen aufheben und das Wasser verdampfen kann. Der Vorgang ist somit endotherm.

Zeolith

Zeolithe sind kristalline Alumosilikate. Sie bestehen demnach hauptsächlich aus Aluminium, Silizium und Sauerstoff. Kristallin bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Ionen (geladene Teilchen) in regelmäßiger Form angeordnet sind (Gitterstruktur). Zeolithe kommen natürlich vor, werden aber auch synthetisch hergestellt. Sie finden beispielsweise Verwendung in Waschmittel, um das Wasser zu enthärten.

Zeolith hat eine sehr große Oberfläche, im Fall von Zeolith A sind dies 900 Quadratmeter pro Gramm. Verantwortlich dafür sind vor allem zwei Gründe: Einerseits sind Zeolithkügelchen makroskopisch porös, andererseits sind Zeolithe auf mikroskopischer Ebene gitterförmig strukturiert. Diese Eigenschaft ist entscheidend für die Adsorptionsfähigkeit des Stoffes.



Schematische Gitterstruktur des Zeoliths

Funktionsprinzip einer Adsorptionskältemaschine

Damit ein Stoff in den gasförmigen Aggregatzustand überführt werden kann, muss Energie (die Verdampfungsenthalpie) zugeführt werden. Bei Normaldruck (1013,25 hPa) verdampft Wasser bei einer Temperatur von 100 °C, zum Beispiel beim Nudelkochen.

Um einen kühlenden Effekt zu erzielen, nutzen wir folgendes Prinzip: Die Energie, die für das

Verdampfen des Wassers benötigt wird, führen wir nicht aktiv zu, sondern entziehen sie der Umgebung, die dabei abkühlt. Dafür muss im System aber ein Unterdruck (Vakuum) herrschen, damit das Wasser so schon bei (unter) Raumtemperatur verdampft und die Temperatur in der Umgebung abnehmen kann.

Der entstandene Wasserdampf gelangt zum Zeolith und adsorbiert dort. Dabei wird sowohl die vorher aus dem Verdampfer entzogene Verdampfungsenthalpie, als auch zusätzliche Bindungsenergie durch die Van-der-Waals-Kräfte zwischen Wasser und Zeolith frei.

Für die Desorption wird Hitze genutzt, die im realen Leben beispielsweise durch die Abwärme eines Motors anfällt. Durch diese werden die Van-der-Waals-Kräfte überwunden und die Wassermoleküle lösen sich vom Zeolith.

Anschließend wird das Wasser durch Wärmeabfuhr im Kondensator wieder in den flüssigen Zustand überführt und kann zurück zum Verdampfer geleitet werden, wodurch sich der Kreislauf schließt.

Konzept

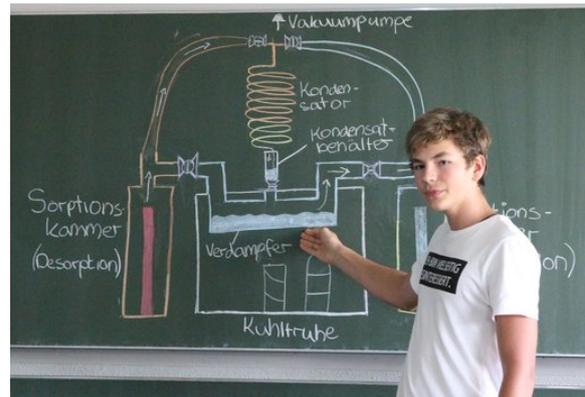
SASKIA, ELLEN

Planung

Ein entscheidender Teil für das Gelingen des Projektes war das Erstellen eines Konzeptes für die Maschine.

Damit wir beim Zusammenbauen der Adsorptionskältemaschine während der Akademiezeit alle benötigten Teile zur Verfügung haben würden, musste diese schon mehrere Wochen vor Akademiebeginn fertig geplant sein und alle Komponenten aufgelistet werden. Das forderte von uns einiges an Recherche, Geduld, viele Diskussionen im Forum und Gruppentelefonate. Das Konzept der Maschine sollte sowohl die volle Funktionstüchtigkeit der Anlage als auch gute Umsetzbarkeit und Anschaulichkeit bieten. Zudem war es ein Ziel für uns, die Funktionsweise der Maschine anhand eines Bildschirms zu erklären. Unser Auftraggeber, das Fraunhofer ICT möchte diese nämlich auf Messen ausstellen. Die größte Herausforderung stellte das

benötigte Vakuum innerhalb der Adsorptionskältemaschine dar. Für den Bau konnten wir also nur vakuumgeeignete und -dichte Teile verwenden. Deshalb war ein gutes Konzept auch so wichtig, denn das Improvisieren bei einer Anlage mit Vakuum hat sich doch als ziemlich schwierig erwiesen – vor allem, da Panzertape nicht luftdicht ist. Zunächst erstellten alle gemeinsam ein Gesamtkonzept, das im Folgenden kurz erklärt wird.



Präsentation unseres Konzeptes bei der Rotation

Funktionsweise unserer Maschine

Adsorptionskältemaschinen arbeiten mit den Prinzipien des Verdampfens und Adsorbierens eines Kältemittels, in unserem Fall Wasser. In einem Gefäß, dem Verdampfer, befindet sich flüssiges Wasser. Wasser verdampft bei Normaldruck erst bei 100 °C. Da wir aber mit unserer Maschine Kälte erzeugen wollen, können wir das Wasser natürlich nicht erhitzen. Wird die Luft aber aus dem Verdampfer evakuiert und ein Unterdruck erzeugt, verdampft das Wasser schon bei Temperaturen unter 100 °C – und entzieht der Umgebung dabei Energie in Form von Wärme. Dadurch wird die Umgebung kälter, der Verdampfer ist also letztendlich der Teil der Maschine, der kalt wird.

Dies wollten wir ausnutzen und ihn in eine kleine Kühlbox aus Styropor setzten, in die auf Messen die zu kühlenden Getränke gestellt werden. Normalerweise würde sich im Verdampfer nach einiger Zeit ein Gleichgewicht aus flüssigem und gasförmigem Wasser bilden und kein weiteres Wasser verdampfen. So würde nach kurzer Zeit gar nicht mehr gekühlt wer-

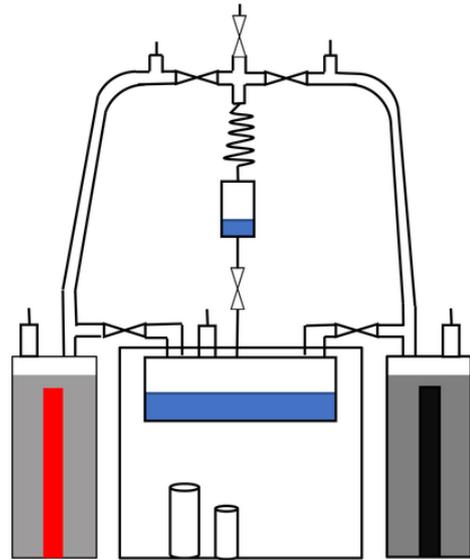
den. Wenn aber in dem Vakuum, in dem sich der Wasserdampf befindet, auch Zeolith vorhanden ist, adsorbiert das gasförmige Wasser an diesem. Deswegen ist wieder weniger Wasserdampf vorhanden und es verdampft immer mehr Flüssigkeit, wodurch die Umgebung des Verdampfers kontinuierlich herabgekühlt wird. Dieser Vorgang stoppt idealerweise erst, wenn der Zeolith vollständig beladen ist, d.h. die komplette Oberfläche komplett mit angelagerten Wassermolekülen belegt ist.

Der Zeolith befindet sich in unserem Fall in einem Sorptionsturm an der Seite der Kühlbox. Die Sorptionstürme bestehen aus je einer Sorptionskammer, die je etwa 1kg Zeolith enthält, und Anschlüssen für die Heizstäbe, Sensoren und Schläuche, die zum Verdampfer und zum Kondensator führen. Die Heizstäbe dienen in der Desorptionphase dazu, den Zeolith auszuheizen und somit das Wasser wieder von dessen Oberfläche zu lösen.

Während der Desorption kann allerdings kein Wasser adsorbieren, und somit kann nicht gekühlt werden. Um einen kontinuierlichen Kühlprozess zu erreichen, entschieden wir uns, zwei Sorptionskammern einzubauen, damit der Wasserdampf immer in einer Kammer adsorbieren und parallel dazu das Wasser in der anderen desorbieren kann. Während der Desorption steigt der Wasserdampf aus den Sorptionskammern durch einen Schlauch zum Kondensator, einer Rohrwendel im Inneren eines großen Rohres, der mithilfe von Lüftern gekühlt wird. Hier kondensiert das Wasser, das heißt, es wird flüssig. Danach kann es wieder in den Verdampfer gelassen werden. Somit konnten wir einen kontinuierlichen Betrieb gewährleisten, obwohl der Prozess eigentlich diskontinuierlich (bei einem Sorptionsturm) in zwei Phasen mit unterbrochener Kühlung abläuft.

Detailfragen

Auch die Positionen von Ventilen, Sensoren, der Vakuumpumpe und weiteren Bauteilen mussten genau festgelegt werden. Die einzelnen Gruppen, die wir am Eröffnungswochenende gebildet hatten, übernahmen nun verschiedene Aufgaben.



Ursprüngliches Konzept der Maschine: Dargestellt sind die Sorptionstürme mit Heizstäben (links und rechts), die Kühlbox mit Getränken (unten Mitte), der halb mit Wasser gefüllte Verdampfer (in der Kühlbox) sowie die Kondensatorspirale mit Kondensatbehälter (oben Mitte).

Die Gruppe „Messtechnik und Didaktik“ mit Joelle, Lukas G. und Lukas K. suchte intensiv nach vakuumgeeigneten Sensoren für hohe Temperaturen von bis zu 250 °C. Sie überlegten sich auch, auf welche Weise die Maschine am besten autark erklärt werden kann. Ihre Wahl fiel auf eine interaktive PowerPoint-Präsentation, die unter anderem die einzelnen Teile der Maschine erklären und Live-Messdaten der Sensoren anzeigen sollte.

Die Gruppe „Vakuum und Dichtungskonzept“, bestehend aus Karina, Benedikt und Ellen, hatte die Aufgabe, alle Teile, die vakuumdicht sein müssen, herauszusuchen. Mit Hilfe unserer Kursleiter fiel am Ende die Entscheidung, für den Kondensator Teile der Firma „Swagelok“ und für den Rest der Maschine Bauteile aus dem Kleinflansch-System (KF-System) zu verwenden. Kleinflansch ist ein Baukastensystem mit aufeinander abgestimmten Teilen speziell für Vakuumanlagen, auch als „LEGO der Vakuumtechnik“ bezeichnet.

Die Gruppe „Kernkomponenten“, der Saskia, Jonas, Kai, Simon und Max angehörten, zeichnete genaue Entwürfe aller Teile, die eigens für das Projekt angefertigt werden mussten – zum



Kleinflansch-Bauteil mit Dichtung und Klemmring

Beispiel der Verdampfer und die Sorptionstürme. Auch mit der Frage der Befestigung der Maschine wurde die Gruppe konfrontiert. Sie entschieden sich schließlich für ITEM-Profile, standardisierte Aluminium-Profile, mit denen sich sehr einfach stabile Gerüste bauen lassen und an denen sich auch die Teile der Maschine gut befestigen ließen.

Ein Erfolgreiches Konzept

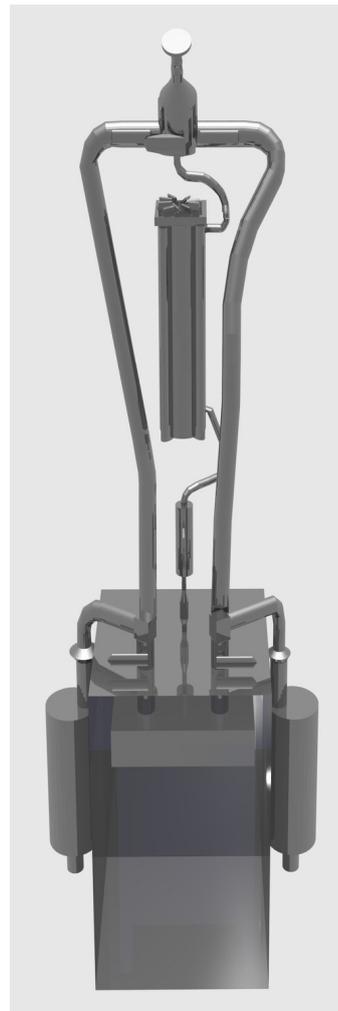
Obwohl wir während der Akademie feststellen mussten, dass unser Konzept nicht so gut durchdacht war wie anfangs erwartet, war es ein unerlässlicher Leitfaden, und hat und den Bau der Maschine erst möglich gemacht.

Aufbau der Adsorptionskältemaschine

LUKAS, KAI

Der Bau unserer Maschine wurde in verschiedene Bereiche aufgeteilt und parallel bearbeitet. Dazu gehörten der Bau eines Gestells aus Alu-Profilen, der Zusammenbau des Kondensatorrohres sowie der Sorptionstürme und das Konstruieren einer wärmeisolierenden Kühlbox, in die später Getränke gestellt werden sollen. Außerdem musste der Arduino mit den Sensoren verkabelt, die Sensoren richtig kalibriert und dazu noch ein Programm geschrieben werden, an das der Arduino die erhaltenen Daten senden konnte. Zur Visualisierung der

Grundprozesse in der Maschine wurde noch eine PowerPoint-Präsentation mit entsprechenden Animationen und erklärenden Texten erstellt. Um die mit Strom betriebenen Bestandteile wie z. B. die beiden Heizstäbe in der Maschine zu betreiben, wurde zudem ein Schaltschrank benötigt, der die entsprechenden Teile mit Strom versorgt.



Modell unserer Maschine

Schließlich montierten wir die einzelnen Komponenten durch vakuumdichte Ventile und Verbindungsstücke aneinander und befestigten sie am Gerüst. Bei der Montage wurden wir allerdings vor unerwartete Herausforderungen gestellt:

Zu Beginn stellten wir fest, dass unsere beiden Heizstäbe fehlten. Da ohne eine funktionierende Wärmequelle unsere Maschine nicht in der Lage gewesen wäre, dauerhaft zu kühlen, konnten wir nur hoffen, die Heizstäbe noch



Reinigung der Kleinflanschteile mit Aceton im Labor

im Verlauf der Akademie zu erhalten. Glücklicherweise wurden die Heizstäbe während der ersten Woche doch noch geliefert. Außerdem fehlte ein Thermoelementeinschrauber, der für den Verdampfer vorgesehen war. Dort sollte ein Thermoelement eingeführt und abgedichtet werden. Ohne diesen Adapter hatten wir allerdings ein Loch von ca. 2 mm Durchmesser im Verdampfer. Dieses abzudichten gestaltete sich sehr schwierig, da die Vakuumknete, die dieses Loch hätte abdichten sollen, dem Druck nicht standhielt und in die Maschine hinein gesogen wurde. Letztendlich erwies sich eine kleine Metallplatte, die mit Epoxidharz auf das Loch geklebt wurde, als die beste Lösung. Die ITEM-Profile haben wir für das Gerüst verwendet, da sie leicht zu bearbeiten und auch entsprechend stabil waren. Um einige Teile an ihnen zu befestigen, die sich nicht so einfach festschrauben ließen, haben wir Universalhalterungen designt und mit einem 3D-Drucker (Ultimaker 3) aus schwarzem ABS-Kunststoff gedruckt. ABS schrumpft jedoch beim Abkühlen, weswegen die Halterungen zuerst nicht auf die ITEM-Profile passten. Aus diesem Grund mussten die Teile erneut etwas größer gedruckt werden, sodass sie sich einfach auf die ITEM-Profile stecken ließen und einige Teile daran befestigt wurden.

Parallel wurden auch die Sensoren erstmals mit dem Arduino verkabelt und getestet. Dabei traten einige Schwierigkeiten bei der Kalibrierung der Sensoren auf, die wir später allerdings noch überwinden konnten. Zusätzlich schrie-

ben wir ein Programm, das es dem Arduino ermöglicht, mit dem Computer zu kommunizieren und die Messdaten anzuzeigen. Da wir die Entwürfe für die Teile, die eigentlich von unserem Auftraggeber gefertigt werden sollten, erst sehr spät erstellt hatten und die Werkstatt des Fraunhofer ICT zu diesem Zeitpunkt umgebaut wurde, ließen wir die benötigten Teile nun in einer anderen Werkstatt fertigen. Dafür mussten wir einige Teile ändern: So fehlten den Sorptionstürmen beispielsweise spezielle Kühlrippen. Die Kondensatorspirale wurde in ein großes Außenrohr gesteckt, welcher erst noch von der Länge angepasst, und deswegen vor Ort, in der Werkstatt des LSZU gesägt werden musste. Aber erst nach einer halben Stunde Sägen, in der es extrem langsam voranging, fiel uns auf, dass wir eine Handsäge benutzt hatten. Zu unserer Verteidigung ist zu sagen, dass diese fälschlicherweise in einer Kiste mit der Beschriftung „Metallsägen“ lag.



Bearbeitung des Metallrohrs für den Kondensator

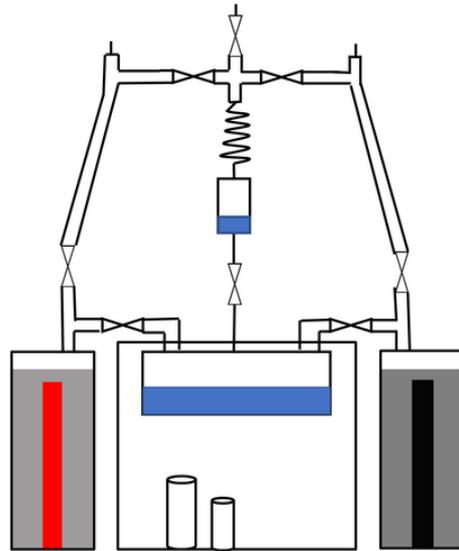
Um den Kondensator entsprechend zu kühlen, wurden an der Ober- und Unterseite Lüfter montiert, die einen Luftstrom an der inneren Rohrwendel entlang erzeugten. Zusätzlich haben wir seitlich in das Außenrohr Löcher gebohrt und dort kleine Lüfter angeklebt. Diese sollten den Luftstrom im Kondensator zusätzlich verwirbeln, um die Kühlung zu verbessern. Außerdem mussten wir noch eine Kühlbox bauen, die dafür sorgte, dass die Kälte des Verdampfers nicht verloren ging. Hierfür haben wir Polystyrol verwendet, da dies durch seine geringe Leitfähigkeit ein geeignetes Material ist. Zusätzlich wurde die Kühlbox innen noch mit Alufolie ausgekleidet, um Wärmestrahlung zu reflektieren.

In die beiden Sorptionstürme haben wir anschließend die beiden mittlerweile angekommenen Heizstäbe eingebaut, abgedichtet und mit Zeolith fast randvoll gefüllt, um ihre Wärmeleistung optimal zu nutzen. Zur Regelung der Temperatur der Heizstäbe wurde außerdem noch ein eigener Schaltschrank gebaut, der für die gesamte Stromversorgung in der Maschine (Heizstäbe, Vakuumpumpe, Lüfter) verantwortlich ist. Unter anderem können wir mit zwei Schaltern die Lüfter ansteuern, die für die Kühlung der Sorptionstürme verantwortlich sind.

Währenddessen haben andere Teammitglieder noch Löcher in die Blindflansche gebohrt, die Drucksensoren und Thermoelemente mit Epoxidharz darin festgeklebt und eingebaut. Die Drucksensoren und Thermoelemente wurden benötigt, um Druck- und Temperaturmessungen in mehreren Teilen der Maschine durchzuführen und die Ergebnisse anzuzeigen. Epoxidharz wurde nicht nur wegen seiner guten Klebfähigkeit verwendet, sondern auch, weil es verhältnismäßig gasdicht ist.

Als die Teile erstmals an dem Gerüst befestigt und zusammengebaut werden sollten, stellte sich heraus, dass die Schläuche, die die Sorptionstürme mit dem Kondensator verbinden sollten, zu kurz bzw. die Maschine zu hoch war. Deshalb mussten wir das ursprüngliche Konzept noch einmal überarbeiten. Um die fehlenden 10 cm zu überbrücken, haben wir weitere Ventile zwischen dem Schlauch und dem Sorptionsturm eingebaut.

Diese Ventile erwiesen sich jedoch später als sehr praktisch, als beim ersten Drucktest die Maschine undicht war. Es konnten damit nämlich einzelne Bereiche der Maschine separat auf ihre Dichtigkeit überprüft werden. Die Maschine war zunächst undicht aufgrund des oben genannten Lochs im Kondensator, da die Vakuumpumpe nicht hielt. Später stellte sich heraus, dass zusätzlich noch Undichtigkeiten dadurch entstanden waren, dass der Verdampfer mit seinem Gewicht zu sehr an den Übergängen zog, um eine vakuumdichte Verbindung zu gewährleisten. Dies kam dadurch zustande, dass wir im ursprünglichen Konzept vergessen hatten, eine Halterung für den Verdampfer einzuplanen, was im Nachhinein eine größere Herausforderung,



Letztendliche Umsetzung der AKM

da wir nicht einfach ITEM-Profilen seitlich in die Kühlbox einführen oder den Verdampfer verschrauben konnten. Deren Materialien sind nämlich sehr gute Wärmeleiter und hätten die Wärme des Raumes in die Kühlbox geleitet. Darum hängten wir ihn erst einmal an Kordeln auf. Da der Zug des Verdampfers trotzdem zu groß war, wurde noch ein weiteres Gestell aus ITEM-Profilen gebaut, das in die Kühlbox gestellt wurde und den Verdampfer trug.

Messtechnik und Didaktik

LUKAS G., LUKAS K.

In der Gruppe Messtechnik und Didaktik haben wir uns damit beschäftigt, die Maschine anschaulich und verständlich zu erklären. Zusätzlich war es unsere Aufgabe, Messdaten aus der Maschine in Echtzeit anzuzeigen.

Unsere Gruppe bestand aus drei Teammitgliedern, unter denen die Aufgaben innerhalb der Gruppe aufgeteilt waren. Die drei Hauptaufgaben waren einmal das Programmieren und Anschließen eines Arduinos (Microcontroller, der Befehle verarbeiten kann) um Sensordaten aus der Maschine auszulesen. Zum anderen erstellten wir eine interaktive PowerPoint-Präsentation, um den auf der Messe anwesenden Personen die Adsorptionskältemaschine (AKM) genau zu erklären. Die dritte Aufgabe war das Entwickeln eines Programms, das

die Kommunikation zwischen PowerPoint und Arduino ermöglichte.

Geplant war, je einen Luftfeuchtigkeitssensor, einen Drucksensor und einen Temperatursensor pro Sorptionsturm anzubringen. Leider waren kaum Sensoren für unsere Anforderungen verfügbar – sie mussten mit dem Arduino ansteuerbar sein, einen Unterdruck von bis zu 8 mbar und Temperaturen von bis zu 200 °C aushalten.



Arbeit am Programm für den Arduino

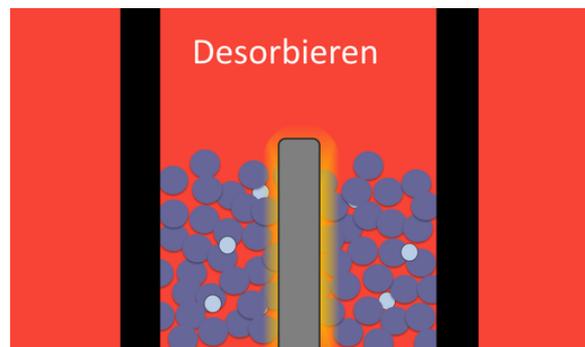
Der zunächst vorgeschlagene Luftfeuchtigkeitssensor konnte nicht bestellt werden, da er die in der Maschine vorherrschenden Verhältnisse nicht aushielte letztendlich kein Nutzen von ihm ausgegangen wäre. Auch der Temperatursensor wurde nicht wie zuvor geplant verwendet, da auch dieser die Temperaturen in den Sorptionstürmen nicht aushielte. Aus diesem Grund haben wir Thermoelemente bestellt, die wesentlich höheren Temperaturen standhielten. Diese konnten zwar gut eingebaut und benutzt werden, brachen jedoch bei späteren Arbeiten an der Maschine ab, weswegen letztendlich leider keine Live-Messdaten aus den Sorptionstürmen verfügbar waren. Deshalb entschieden wir uns zum Schluss dafür, lediglich die zwei Temperatursensoren, die wir für kühlere Bereiche an der Maschine bestellt hatten, in der Kühlbox zu installieren.

Auch die Drucksensoren hielten den Temperaturen in den Sorptionstürmen nicht stand. Daher wurden diese ininigem Abstand der Sorptionstürme neben dem Anschluss der Vakuumpumpe installiert. Die Feinkalibrierung der Drucksensoren konnte aus Zeitmangel nicht mehr vollendet werden.

Das Team erstellte ein Programm, das die Messdaten vom Arduino empfing und auf dem Computerbildschirm darstellte. Wir haben dieses mit Hilfe der Programmiersprache C# erstellt. Es stellt eine Verbindung über USB mit dem Arduino her. Auf dem Bildschirm wird eine vereinfachte Grafik angezeigt, die mit Hilfe des CAD-Programms „Blender“ (ein Programm zum Erstellen von 3D-Modellen) erstellt wurde. Die Messdaten, die im Abstand von einer halben Sekunde aktualisiert wurden, werden an den entsprechenden Stellen der Grafik dargestellt.

Es besteht die Möglichkeit, aus der PowerPoint das Programm aufzurufen und die Messdaten anzeigen zu lassen.

Die PowerPoint-Präsentation wurde in kurzer Zeit mit Inhalt gefüllt. Da nun nur noch das Testen der Sensoren und der Feinschliff an der Präsentation fehlten, teilte sich die Gruppe auf und unterstützte zusätzlich die Montagearbeiten der Kernkomponenten-Gruppe. Sobald die PowerPoint gestartet wird, gelangt der Besucher zu einem Menü, in dem der Nutzer zwischen drei Optionen wählen kann: Die erste Option ist das Erkunden der Maschine. Hier gelangt der Besucher zu einer Grafik der Maschine und kann mit der Maus einen bestimmten Teil der Maschine auswählen, der dabei stets farblich hervorgehoben wird. Danach werden generelle Informationen zur Verwendung bzw. zum Zweck des gewählten Bauteils angezeigt.



PowerPoint-Erklärungsfolie zum Thema Desorption

Als zweite Option war ein Erklärvideo geplant, um die genaue Funktionsweise der AKM zu veranschaulichen. Dieser Teil wurde jedoch auf Grund von Hyperlinks, die zu Erklärungsseiten für bestimmte Begriffe führten, überflüssig.

Als dritter Eintrag steht das Betrachten der Live-Messdaten zur Auswahl. Wird diese Schaltfläche angeklickt, so öffnet sich ein Programm, das die Messdaten der Sensoren anzeigt.

Alle Folien wurden mit vielen, aufwändigen Animationen unterlegt, die die gesamte Präsentation zu einer Art interaktivem Film werden ließen.

Der Laptop wurde mit all den Makros in der PowerPoint-Präsentation, die für Hovereffekte (das farbige Hervorheben einzelner Bereiche einer Folie, sobald die Maus über diese Bereiche bewegt wird) und das Anzeigen des Programms verantwortlich sind, eingerichtet, sodass die Funktionsweise der Maschine später von den Besuchern der Messe selbstständig erkundet werden kann.

In der zweiten Woche mussten dann noch die Sensoren in die Blindflansche eingeklebt werden, um sie mit dem KF-System zu verbinden.

Beim Umgang mit dem Epoxidharz, das zum Einkleben der Sensoren benutzt wurde, bekam das Team von der Kernkomponenten-Gruppe Unterstützung. So konnten letztendlich alle Sensoren eingebaut und angesteuert werden.

Der lange Weg zu einer funktionierenden Maschine

KAI, SASKIA

Kaum waren alle Teile angeschlossen, da begannen wir auch schon mit den ersten Tests auf Dichtigkeit.

Das heißt, die Anlage wird mithilfe einer Vakuumpumpe evakuiert, gleichzeitig strömt immer ein bisschen Luft von außen nach, denn es gibt keine absolute Dichtigkeit. Wenn die Pumpe allerdings leistungsfähig ist und die Undichtigkeit gering, kann ein hohes Vakuum erreicht werden. Falls nicht, so stellt sich ein Gleichgewicht ein und die Pumpe pumpt (bei höherem Druck) gerade so viel weg, wie nachströmt. Wenn der erreichte Druck für gut genug befunden wird, kann die Vakuumpumpe abgestellt und mit einem Ventil von der Anlage getrennt werden. Dann wird gemessen, wie stark sich der Druck in welcher Zeit erhöht. Um die Undichtigkeit

der Anlage messen zu können, wurde der Begriff der Leckagerate eingeführt.

Die Leckagerate ist definiert als das Produkt aus Druck und Volumen einer bestimmten Menge eines Gases, welches in die Anlage strömt, geteilt durch die Zeitspanne der Messung.

Da der obere Teil der Maschine mitsamt dem Kondensator einen Druck von etwa 8 mbar recht zuverlässig erreichte und auf diesem Niveau hielt, waren schon viele strahlende Gesichter zu sehen. Das wurde kaum dadurch gemindert, dass die Sorptionstürme offensichtlich weniger dicht waren. Als wir dann aber die Ventile zum Verdampfer hin öffneten, sank die Laune noch erheblich: Ein leises Pfeifen war zu hören und das Vakuum war nicht mehr existent. Die Vakuumnete hält dem Unterdruck anscheinend nicht stand, wenn sie einfach über ein 2 mm großes Loch gelegt wird. Es entstand ein Loch in der Knete, die förmlich in die Anlage gesaugt wurde.

Die Lüfter zur äußeren Kühlung des Kondensators und der Sorptionstürme drehten sich immerhin schon, also hofften wir, dass sie ihren Zweck erfüllen würden, auch wenn wir keinen spezifischen Test zur Bestimmung der Kühlleistung gemacht hatten. Die übrigen Komponenten, inklusive Heizzürme und Sicherungskasten, funktionierten aber schon und erfüllten ihre Aufgaben sehr gut.

Der nächste Dichtigkeitstest, bei dem das Loch im Verdampfer statt mit Vakuumnete nun mit einem Metallplättchen und Epoxidharz abgedichtet war, verlief schon erfolgreicher, denn es gab keine optisch oder akustisch erkennbaren Lecks mehr. Doch der Druck entwich immer noch zu schnell. Das Problem: Wir standen unter Zeitdruck und konnten es uns nicht leisten, weiterhin als ganze Gruppe an der Maschine zu arbeiten.

Es fanden sich also zwei Freiwillige, die zusammen mit Matthias sämtliche Klemmringe noch einmal entfernten und Kleinflansche reinigten und festdrehten. Außerdem wurde das Aufhängungssystem erneut überarbeitet und akribisch genau justiert, um die Flansche mechanisch spannungsfrei einbauen zu können. Zuvor hatten wir festgestellt, dass das Gewicht des Verdampfers bzw. der Sorptionstürme auf-



Wenn sich alle im Weg stehen, sind viele beschäftigt

grund der mangelhaften Aufhängung an manchen Flanschen zog. Ungünstigerweise kann selbst eine kleine Kraft, die senkrecht auf die Dichtfläche wirkt, dazu führen, dass der Dichtring an einer Seite gequetscht wird und an der anderen Seite zu viel Platz hat und damit seine Dichtwirkung verliert.

Unsere Anstrengungen waren anfangs leider nur sehr mäßigen Erfolges – die Hoffnung auf eine dichte Maschine sank immer weiter. Unermüdlich wurde weitergearbeitet, zeitweise allerdings unter Flüchen, von denen die Teilnehmenden des einen Stock höher befindlichen Biologiekurses noch ihren Enkeln erzählen können (es fielen einige, hier ungenannte, Bezeichnungen für die Maschine oder wahllose Gegenstände im Raum, auf die wir unseren Frust projizierten). Ab und zu wurde auch eine andere Person, die den Fehler beging, sich in einem ungünstigen Moment ins Labor zu begeben, zum Opfer der aufgeheizten Stimmung.

Eigentlich war es ein Wunder, dass aus dieser Arbeitsweise am Ende sogar ein richtiger Erfolg hervorging: Wie durch ein Wunder war die Anlage nach erneutem Zusammensetzen tatsächlich so dicht, dass der Druck in der Ma-

schine innerhalb von zwei Stunden um weniger als ein Millibar anstieg.

Siegesgesänge wurden angestimmt, denn nun war die Maschine einsatzbereit, gerade noch pünktlich zum Stichtag und es kam sogar noch besser: In einem Kühl-Test funktionierte sie so gut, dass wir eine Temperatur von 20 °C am Verdampfer erreichten, die am nächsten Tag dann sogar von unter 15 °C unterboten wurde. Auch das Ausheizen des Zeoliths funktionierte und die Sensoren waren einsatzbereit für Live-Messdaten. Damit stand unserer Adsorptionskältemaschine nichts mehr im Wege – wir haben unseren Auftrag erfolgreich abgeschlossen!

Fazit

BENEDIKT, JONAS

Nachdem wir uns zwei Wochen intensiv mit dem Thema und der Adsorptionskältemaschine an sich auseinandergesetzt hatten, möchten wir das Projekt resümieren.

Der Punkt, der mit Abstand am besten lief, war das Entstehen eines Teamgeists, sodass alle mit Spaß und Freude mitarbeiteten. Dabei entwickelte sich jedes Teammitglied weiter, lernte vieles dazu und konnte sich auf seine Art einbringen. Direkt am Anfang wurden von allen Teammitgliedern bereits fachlich tiefgreifende Präsentationen gehalten, die essentiell für das Verständnis der Anlage waren und damit das Fundament setzten. Dazu sammelten wir sehr viele Einblicke in das reale Arbeiten in Form von Angebot-Auftrags-Verhältnissen, Risikoanalysen, dem Erstellen von Zeitplänen und weiteren, das Projektmanagement betreffenden Theorieeinheiten. Einer der interessantesten Teile des Projekts war mit Sicherheit auch die Exkursion zum Fraunhofer ICT, wo uns viele spannende Einblicke in die Arbeit einer wissenschaftlichen Großorganisation geboten wurden. Besonders gelungen ist auch der didaktische Teil des Projekts, in dem über eine interaktive PowerPoint-Präsentation alle wichtigen Informationen über die Maschine sehr anschaulich dargestellt werden. Nicht zu kurz kam auch die Kreativität der Teilnehmenden: Für (fast) jedes Problem fanden wir eine Lösung, selbst

für den partout nicht dicht werden wollenden Verdampfer, sodass nach vielen Überstunden eine funktionstüchtige Adsorptionskältemaschine im Labor stand.

Natürlich warteten bei so einem Projekt auch zahlreiche Herausforderungen auf uns: In jedem Arbeitsschritt musste unter extrem hohem Zeitdruck gearbeitet werden, sodass kaum Zeit zur Verfügung stand, die Maschine in Ruhe aufzubauen und zu testen. Leider fielen im Laufe der Akademie auch noch mehrere Teammitglieder krankheitsbedingt aus. Hinzukam, dass wir uns in kürzester Zeit ein vollkommen unbekanntes Thema aneignen mussten. Eine Folge daraus war, dass wir die Materialliste zum gesetzten Zeitpunkt noch nicht fertig ausgearbeitet hatten und zwei Wochen zu spät abschickten. Infolgedessen waren nicht alle Teile aufeinander abgestimmt, und alternative Lösungen mussten gefunden werden. Eine weitere Zeitverzögerung war der Aufbau der Kühlbox, für die wir schon vor der Akademie die Maße etc. hätte kennen sollen, damit sie schon vorher maschinell gefertigt hätte werden können, was uns sehr viel Knobelei und Zeit eingespart hätte.

Trotz all dieser Probleme lässt sich jedoch sagen, dass das TheoPrax-Projekt „Kühlen mit Wärme“ durchaus erfolgreich war – die Maschine war bei der Projektvorstellung voll funktionsfähig – und rief bei allen Beteiligten großes Interesse hervor.

Am Ende der zwei Wochen waren wir stolz, das gesteckte Ziel erreicht zu haben.

Abschlusspräsentation

KARINA, LUKAS

Mit der Abschlusspräsentation am vorletzten Akademietag stellten wir unsere Ergebnisse Eltern, Teilnehmenden und Ehemaligen vor, um ihnen einen Einblick in das Akademieleben der vergangenen zwei Wochen und natürlich unser Projekt zu geben. Wir begannen unsere Präsentation mit einer Vorstellung des TheoPrax-Konzepts. Dabei gingen wir auf die Lernmethode, das Angebot- Auftrags-Verhältnis sowie auf das Projektmanagement ein. Darüber hinaus erklärten wir im Anschluss an ein Experiment das Funktionsprinzip und das Konzept unse-



Der erste große Auftritt der AKM

rer Maschine, sowie die Durchführung des Aufbaus. Hierbei gingen wir auf Erfolge genauso wie auch auf Probleme ein. Ein wichtiger Teil der Präsentation war die Präsentation der Maschine mit PowerPoint-Folien zur Erklärung, die zusätzlich Live-Messdaten in Echtzeit aus der Maschine anzeigten.

Die Abschlusspräsentation basierte auf einer vorher erarbeiteten Vorstellung für die sogenannte „Rotation“. In dieser Rotation stellten sich die Kurse gegenseitig ihre Arbeit der ersten Woche vor. Durch die Rotationspräsentation mussten wir nicht von null anfangen und hatten schon viel Erfahrung mit Präsentiertechniken erworben.

Natürlich präsentierten wir nicht alle gleichzeitig: Wir teilten uns in vier Gruppen auf und stellten den Kurs und das Projekt nacheinander vor. Auf diese Art und Weise hatten wir selbst die Möglichkeit, andere Kurse zu besuchen. Erfreut konnten wir dann feststellen, dass unser Kursraum bis auf den letzten Platz gefüllt war.

Nach unserer humorvollen und informationsreichen Präsentation überreichten Matthias und Moritz jedem Einzelnen von uns ein Zertifikat, das unsere Teilnahme am TheoPrax-Kurs und die damit verbundenen Kenntnisse bestätigte.

Welche Rolle spielt unser Projekt in der Zukunft?

JONAS, ELLEN

In dem Moment, in dem dieser Text geschrieben wurde, hat die breite öffentliche Masse noch

nie von der Technologie gehört, mit der wir uns in unserem Projekt beschäftigt haben. Für die immer strengeren Anforderungen und Gesetze gegen Kältemittel und CO₂-Emissionen könnten die Adsorptionskältemaschinen in der Zukunft allerdings eine größere Rolle spielen. An allen Orten, an denen überschüssige Energie in Form von Abwärme anfällt und außerdem etwas gekühlt werden soll, wären derartige Kältemaschinen ideal geeignet, um zukünftig elektrische Energie zu sparen.

Schon heute gibt es bereits einige Modelle wie beispielsweise eine Maschine der Fahrenheit GmbH die für die Kühlung von Serverräumen genutzt wird. Als Wärmequelle dient hier ein firmeneigenes Blockheizkraftwerk. Auch die Firma Invenso baut bereits Adsorptionskältemaschinen, diese werden bisher zur Kühlung von Büroräumen genutzt. In diesem Fall liefert ebenfalls ein Blockheizkraftwerk die benötigte Wärmeenergie.

Bei sorgfältiger Planung und richtiger Anwendung haben Adsorptionskältemaschinen große Vorteile gegenüber der konventionellen Kühltchnik und werden in der Zukunft wahrscheinlich vermehrt eingesetzt werden. Deshalb freut es uns besonders, mit unserer Demonstrationsmaschine dazu beitragen zu können, dieses Kühlprinzip der Öffentlichkeit ein wenig vertrauter zu machen.

Zwischen den Zeilen

SIMON, LUKAS, KAI, JOELLE

Auflockerung

Zur Auflockerung, zur Kommunikationsübung und nicht zuletzt zum Teambuilding haben wir neben der Arbeit auch verschiedenste Spiele gespielt.

So mussten wir in „Evolution“ durch Schnick-Schnack-Schnuck-Siege, die entsprechende Figur nachahmend, von einer Amöbe über Huhn, Affe und Tyrannosaurus-Rex (über die evolutionär korrekte Abfolge lässt sich streiten) bis hin zum edelsten aller Geschöpfe aufsteigen: zum Einhorn.

Wir bezwangen in großartiger Teamarbeit das „Ägyptische Schwebholz“, das heißt: ein Meinungsverstärker (auch Zollstock genannt) wird von allen mit einem Finger berührt und muss auf den Boden abgesenkt werden. Klingt leicht, aber die Umsetzung ist ganz schön knifflig!



Das „Ägyptische Schwebholz“

Sich auf immer weniger werdenden Stühlen nach Geburtsdatum oder Postleitzahl zu ordnen und dabei weder zu reden noch den Boden zu berühren, war eine weitere Herausforderung, die uns bevorstand. Das größte Problem dabei: die Angst, dass die Stühle krachen.



Ob die Stühle das wohl halten? #sindwirzuschwer?

Eine Maßnahme zur Verbesserung der Kommunikationspräzision war es, dass wir alle koordiniert von Instruktoren ein Zelt mit verbundenen Augen aufbauen sollten.

Diese Maßnahmen hatten einen nicht unbedeutenden Anteil an unserem Sieg im Sportfest, den wir trotz Widerstand durch die anderen Kurse, sicher nach Hause tragen konnten.

Zwei Wochen vergehen wie im Flug

Nie haben wir zwei so kurze Wochen erlebt wie die, die hinter uns liegen. Wer hätte gedacht, dass aus einer so bunt zusammengewürfelten Gruppe in so kurzer Zeit ein Team zusammenwächst, das ein solches Projekt zustande bringt? Nicht ein einfaches Schulprojekt, vom Lehrer durchgeplant und koordiniert – Nein, wir haben ein Forschungsprojekt mit Ernstcharakter geplant, durchgeführt und präsentiert. Viele Stunden in langer Hose und festen Schuhen verbrachten wir dabei im Labor, um Versuche durchzuführen und unsere Maschine zusammenzubauen. Unsere stärksten Waffen? Holz-säge, Epoxidharz und Vakuumknete. Nach einem intensiven Kampf gegen Thermo-elemente, Ventile und diversen Lecks waren es genau zwei Sätze, die uns in die höchste Euphorie versetzten: „Sie ist dicht!“ und „Es wird kalt!“ Genauso wichtig für das Gelingen unseres Projektes war auch die Zeit in unserem liebevoll mit bunten Notizkärtchen und Lamas dekoriertem Kursraum, wo wir die theoretischen Grundlagen lernten und über Projektmanagement, Teambuilding, sowie Kommunikation aufgeklärt wurden.

Neben Strukturlegetechniken und Risikoanalysen wurden Zelte blind unter der Anleitung eines Sehenden aufgebaut (es ist nun bewiesen, dass zwei Kursleiter und eine Schülermentorin in ein Kinderzelt passen) und selbst das ägyptische Schwebholz schwebte am Ende sanft auf den Boden. Natürlich durfte es im TheoPrax-Kurs auch nicht an Tee und Snacks mangeln, welche die Stimmung und Konzentration aufrechterhielten. So ein Tag im Labor macht ganz schön hungrig, wenn man zwischendurch auch noch die komplette Evolution von der Amöbe zum Einhorn durchläuft.

Auch die motivierende Musik war von größter Bedeutung für das Gelingen unserer Aufgabe; obwohl es eine Weile dauerte, bis wir einen Kompromiss für die Liederauswahl fanden. Doch inzwischen gehören wir zu dem kleinen Kreis an Gruppen, die trotz verschiedener Geschmäcker gemeinsam Musik hören können. Unser aller Lieblingssong? Natürlich der von Lukas gemixte Kai-Song! Auf den Fluren, im Treppenhaus, überall hörte man tagelang das

bekannte „Nein! Nein! Das kann einfach nicht sein!“ – „Ich hasse Stacheln!“ oder schlicht und einfach ein lautes „Raaaaaah!“.

Und sank die Motivation trotz all dieser Faktoren einmal zu stark, ging es nach draußen, um ein bisschen in Bewegung zu kommen. Da rann-ten die Omas, sprangen die Toastbrote, wiewerten die Einhörner und nicht selten schallten neben dem Schlachtruf die Anfeuerungsrufe der größten Fans über das Gelände und ein fröhliches „Ramalama ding dong“ durch den Kursraum.



Was aussieht wie ein fremdartiger Paarungstanz, war eigentlich unsere Aufwärmübung fürs Sportfest.

In den weniger produktiven Phasen haben wir zum Beispiel den Hühnchen-Tanz eingeübt, Funktions-Thai-Chi praktiziert oder eine spontane Tanzstunde von Benedikt und Lorina bekommen.

Diese intensive Zeit mit Gleichaltrigen und Gleichgesinnten zu verbringen, hat eine Atmosphäre geschaffen, die wohl keiner so schnell vergessen wird. Nicht nur am Sportfest haben wir alle an einem Strang gezogen. Selbst wenn wir in drei Gruppen aufgeteilt waren, haben wir alle zusammen ein Ziel verfolgt und die Aufgabe gemeistert.

Die Kursleiter und unsere Schülermentorin stellten weniger die pädagogische Hand dar, die über das Projekt wacht, sondern standen uns vielmehr als Ratgeber und Unterstützer zur Seite. So kam es, dass unsere allseits be- und geliebte, autoritäre, nette, humorvolle Schülermentorin nicht nur hilflos viele Meter über dem Boden hing (an einem Basketballkorb), sondern auch nachts, in dunkler, kalter Wildnis von ihren frechen, aufmüpfigen „TheoPraxelnden“ an einen Laternenpfahl gepanzertaped wurde.

Egal, wie verschieden wir waren, jeder fand seinen Platz – in nur 14 Tagen sind alle Teil-



Hilfos, ihrer Autorität beraubt: Eine Schülermentorin in ihrem natürlichen Habitat

nehmenden, Leitenden und unsere Mentorin zu einer Einheit geworden, die selbst in heißen Phasen cool bleibt.

Danksagung

ELLEN

Die zwei Wochen in Adelsheim werden wir alle in wunderbarer Erinnerung behalten und noch oft an diese schöne Zeit zurückdenken. Diese Akademie wäre niemals ohne tatkräftige Unterstützung zustande gekommen.

Deshalb möchten wir uns bei allen Sponsoren und Förderern der Science Academy Baden-Württemberg herzlich bedanken. Ein großer Dank gebührt außerdem dem Fraunhofer ICT und dem Verband der Chemischen Industrie für die großzügige finanzielle Unterstützung unseres Kurses. Vor allem auch unserem Auftrag-

geber, Herrn Christian Teicht vom Fraunhofer ICT sind wir sehr dankbar für die Ermöglichung dieses Projekts und die fachliche Unterstützung. Auch wäre unser Projekt ohne die Unterstützung einiger Firmen nie gelungen. Deshalb wollen wir uns sehr herzlich bei den Firmen Horst GmbH für die Bereitstellung der Heizstäbe, Kurt Obermeier GmbH & Co. KG für den Zeolith, AZO GmbH + Co. KG für das Material und die Fertigung der Sorptionstürme sowie des Verdampfers, Vacuubrand GmbH + Co. KG für verschiedene Kleinflansch-Komponenten sowie B.E.S.T Fluidsysteme GmbH für die Swagelok-Komponenten bedanken.

Unseren Kursleitern Matthias, Moritz und Lorina sind wir unendlich dankbar für ihr Engagement, ihre Geduld und Motivation. Ohne sie hätten wir das alles nie geschafft.

Dem Eckenberg-Gymnasium mit dem Landes-schulzentrum für Umwelterziehung gebührt ein besonderer Dank für unsere Unterbringung, die Bereitstellung von Räumlichkeiten sowie der wunderbaren Verpflegung. Wir alle haben uns hier sehr wohl und willkommen gefühlt.

Insider

Lukas: „600 °C Raumtemperatur.“

Saskia, nachdem sie eine Metallplatte durchgesägt hat: „Ach, das war eine Holzsäge?“

Moritz: „Bitte sag Matthias nichts davon!“

Moritz: „Blubb, nice.“

Max: „Das haben wir als verkraftbar eingestuft.“

Matthias über die Rotationspräsentation: „Die gelben Kästen müssen aber schon einheitlich sein.“

Benedikt: „DJ Heartfeelings.“

Max: „DRK. Der rote Knopf.“

Kai: „Eine exzellente Frage ...“

Kai: „Fertig. Das fast lasse ich jetzt einfach mal weg.“

Benedikt: „Hallol.“

Benedikt: „Ich feier’ Backsteine schon richtig hart.“

Lorina mit unschuldigem Blick: „Ich habe gehört, du möchtest mir ein Toffifee geben.“

Kai: „Ich hasse Stacheln.“

Kai: „Raaah!“

Kai: „Ja! Chips.“

Lukas: „Just trust me!“

Mathias: „Kabelsalat.“

Kai über die Lama-Kekse: „Mmmh, schmeckt ja gar nicht mal so gut!“

Moritz: „Kinder, liebe Kinder.“ Alle: haben einen Ohrwurm

Kai: „Es ist Obst im Haus!“

Saskia: „Kotzendes Känguru.“

Kai: „Lass mal Holzschrauben verwenden.“

Lorina (tanzend): „Kreuzen, Geodreieck, Hühnchen.“

Lorina: „THEO!“ Alle: „PRAX, GEWINNT MIT KLACKS!“

Lorina: „UNSER KURS IST GUT WIE NIE!“

Alle: „NICHT NUR IN DER THEORIE!“

Lorina: „ZICKEZACKE ZICKEZACKE!“

Alle: „HORST HORST HORST!“

Karina: „Oh James.“

Lorina: „Rama Lama“ Alle: „Ding Dong.“

Bananadikt: „Sheesh(springer).“

Moritz: „St(e)ak(e)holder“

Kai: „Ja man! Mittagessen!“

Benedikt: „Möchtegern gehoben.“

Matthias: „Nach euren Plänen schwebt die Vakuumpumpe also.“



Der etwas andere Umgang mit Labormaterialien.

Kai: „Nein, nein, das kann einfach nicht sein.“

Lorina: „Vom Dino zum Einhorn.“

Simon: „Welche ist ein schönes Wort.“

Max: „Wie wär’s mit Würstchenwasser?“

Moritz (bemerkt erstaunt): „Wir haben ja zwei Lukasse?!“

Max: „Wir kühlen einfach mit einem externen Wasserkreislauf.“

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 17. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt möglich gemacht haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Stiftung Bildung und Jugend, die Schwarz-Stiftung, die Hopp-Foundation, den Förderverein der Science Academy sowie durch den Fonds der Chemischen Industrie unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken daher Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 – Schule und Bildung des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 – allgemein bildende Gymnasien, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin und Herrn Jan Wohlgemuth vom Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank dem scheidenden Koordinator der Deutschen Schüler- und JuniorAkademien, Herrn Volker Brandt, seiner Nachfolgerin Ulrike Leithof, der Referentin für die Akademien Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Wie in jedem Jahr fanden die etwas über einhundert Gäste sowohl während des Eröffnungswochenendes und des Dokumentationswochenendes als auch während der zwei Wochen im Sommer eine liebevolle Rundumversorgung am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umwelterziehung (LSZU) in Adelsheim. Stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter möchten wir uns für die Mühen, den freundlichen Empfang und den offenen Umgang mit allen bei dem zum Zeitpunkt des Drucks dieser Dokumentation schon ehemaligen Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums, Herrn Oberstudiendirektor Meinolf Stendebach, und seinem Nachfolger, Herrn Studiendirektor Martin Klaiber, besonders bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Oberstudiendirektorin Dr. Andrea Merger vom Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg, wo wir bei vielfältiger Gelegenheit zu Gast sein durften.

Zuletzt sind aber auch die Kurs- und KüA-Leiter gemeinsam mit den Schülermentoren und der Assistenz des Leitungsteams diejenigen, die mit ihrer hingebungsvollen Arbeit das Fundament der Akademie bilden.

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

Bildnachweis

Seite 11, Abbildung Sonnenfinsternis-Schema:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sonnenfinsternis-schema.svg>

Wikimedia-User Юкаган

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

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.