

JuniorAkademie Adelsheim

22. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2025



Genetik



Klimaphysik/Informatik



Mikrogravitation



Pharmazie



Philosophie/Theater



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2025**

**22. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim:

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

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de

birgit.schillinger@scienceacademy.de

rico.lippold@scienceacademy.de

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 22. JuniorAkademie Adelsheim 2025 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

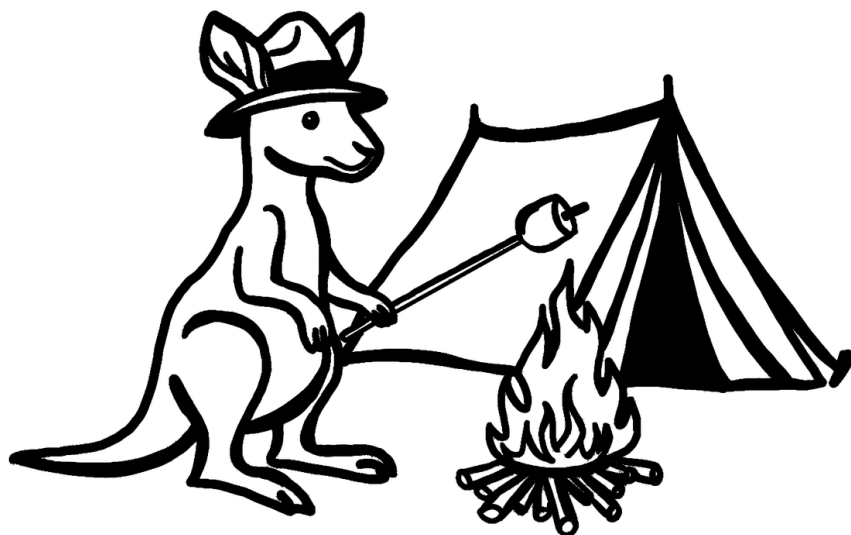
Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter, Tobias van Lier

Copyright © 2025 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

Vorwort – Expedition ins Unbekannte

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

Science Academy 2025



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

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

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

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

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

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

Eure/Ihre Akademieleitung

Melissa Bauer

Melissa Bauer (Assistenz)

Julian Poschik

Julian Poschik (Assistenz)

Jörg Richter

Jörg Richter

Birgit Schillinger

Dr. Birgit Schillinger



Inhaltsverzeichnis

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

Kurs 4 – Pharmazie: Von Tabletten, Snacks und Turbulenzen – Abenteuer im Darm



Einleitung

NINA LUETKENS

Ob Kopfschmerzen, Übelkeit oder Fieber – gegen fast jedes Leiden gibt es heute ein passendes Medikament. Doch haben Sie sich schon einmal gefragt, warum man manche Tabletten auf nüchternen Magen einnehmen soll, während andere besser nach einer Mahlzeit wirken?

In den Beipackzetteln findet sich zwischen langen Listen von Inhaltsstoffen und möglichen Nebenwirkungen oft auch die Angabe, wann der Arzneistoff einzunehmen ist. Doch macht es wirklich einen Unterschied, ob man eine Tablette „auf leeren Magen“ oder „eine Stunde nach dem Essen“ einnimmt? Wie stark beeinflusst die zeitgleiche Nahrungsaufnahme die

Wirkung eines Arzneistoffes – oder kommt es vielleicht sogar darauf an, was genau man isst?

Diesen spannenden Fragen haben wir uns im Pharmazie-Kurs gewidmet. Dafür beschäftigen wir uns zunächst mit den theoretischen Grundlagen zur Funktionsweise des menschlichen Magen-Darm-Traktes. Im Mittelpunkt stand für uns dabei die Aufnahme von Wirkstoffen im Dünndarm. Mit dem neu erworbenen Wissen entwarf unser Kurs dann zwei Darm-Modelle, welche jeweils einen unterschiedlichen Schwerpunkt setzten. Anhand dieser Modelle simulierten wir den Verdauungsprozess bei verschiedenen Nahrungsmitteln sowie einem beigelegten Modell-Arzneistoff. Unser Ziel bestand darin, zu messen, wie viel des zugesetzten Arzneistoffes im Dünndarm des Modells resorbiert wird

und inwiefern die Zusammensetzung der zugeführten Nahrung dessen Aufnahme begünstigt beziehungsweise erschwert.

Mindestens ebenso wichtig wie die Ergebnisse, die uns unsere Modelle schlussendlich lieferten, war aber der Weg dorthin. Jenseits der Erfahrungen mit wissenschaftlichem Arbeiten und neu entdecktem Spaß an der Forschung zeigte uns die Arbeit im Kurs auch, wie weit man mit Neugier, einem gewissen Maß an Frustrationstoleranz und einem guten Teamgeist kommen kann. Nun laden wir Sie herzlich ein, auf den folgenden Seiten unsere Reise nachzuvollziehen: unsere Arbeit, unsere Erfolge, manch einen kleinen Umweg und vor allem die große Freude, die wir dabei hatten.

Unser Kurs

Aaron war als motivierter Sportler oft bei verschiedenen Sportangeboten am Start. Genauso gab er beim Sportfest auch alles. In unserem Kurs übernahm er häufig die Aufgaben, die niemand machen wollte, damit hieß er für uns „Putzfee“. Das zeigte, wie engagiert er beim Kurs dabei war. Er half immer aktiv bei der Planung und der Umsetzung unseres Projektes mit. Zusammen mit Moritz bildet er das Dream-Team unseres Kurses!

Cara hat immer einen lustigen oder verstörenden Fakt parat, der jedem den Tag verschönert. Bei den KüAs brachte sie sich durch kreative Angebote, wie eine Häkel-KüA ein. Sie ist sehr humorvoll, was sich auch in ihrem kreativen, selbstgeschriebenen Spiel „Das Spiel 2“ zeigte. Sie zeichnete sich durch ihre stetige Ordnung am Arbeitsplatz aus. Ihrer Sanitärspflicht ging sie auch während des Kurses nach, indem sie darauf achtete, dass unsere Modelle nicht an Fieber sterben.

Christian ist immer humorvoll und lacht viel und herzlich. Er hat immer einen Überblick über die Gesamtsituation und kann, wenn es in unserem Kurs mal wilder zugeht, auch für Ruhe sorgen. Außerdem weiß er sehr viel und kann uns sein Wissen auf eine humorvolle Weise beibringen. Zusätzlich

hilft er uns immer, wenn wir mal nicht weiterkommen oder Probleme haben.

Erik – egal ob im Labor oder bei der Präsentation – ist immer voll konzentriert bei der Sache. Mit seiner überzeugenden Art bringt er jedes Thema auf den Punkt und zieht dabei alle in seinen Bann. Seine gute Laune und sein Humor sorgen dafür, dass auch lange Arbeitstage nie langweilig werden.

Fabienne hält im Kurs den Rekord für die meisten Spitznamen. Es geht von Chewbacca aufgrund ihrer wunderschönen und stets gepflegten Locken über Anti-Fabiene bis hin zu Jasmin. Sie war nicht nur sehr engagiert am UV-Vis-Gerät sondern auch in der Musik-KüA, bei der sie unseren ganzen Kurs vertreten hat. Noch dazu ist sie sportlich sehr aktiv und hat jede Chance des Frühsports sehr motiviert genutzt.

Ivan ist der Schlaue aus unserem Kurs. Er hat immer einen Plan für jede Situation. Wenn man mal nicht weiterweiß, hat er immer eine passende Antwort parat. Mit Ivan kann man aber auch immer Spaß haben und lachen.

Jana sorgte im Kurs immer dafür, dass wir gut mit Tee und Gebäck versorgt waren, und brachte dazu ihren aufmerksamkeitsbedürftigen Wasserkocher „Horst“ mit. Die KüA-Angebote bereicherte sie mit ihrem vielseitigen Angebot, das von Seifen- bis Pralinenherstellung reichte. Die Kursinhalte konnte sie uns durch ihre fachliche Kompetenz und ihr Einfühlungsvermögen schlüssig erklären und Fragen beantworten.

Julia ist jeden Morgen früher als nötig aufgestanden, um zum Frühsport zu gehen. Damit hat sie die Ehre des Kurses gerettet. Sie steckt alle mit ihrem Humor an und ist als gute Freundin immer da, wenn man sie braucht. Sie hat eine offene und freundliche Art. Auch beim Thema Kursspruch brachte sie sich ein und regte den Denkanstoß zum finalen Spruch an. Selbst in ihrer Freizeit beschäftigte sie sich mit der Relevanz des Themas für die Allgemeinheit.

Joy hat aufgrund ihrer liebevollen und disziplinierten Art sehr schnell am Anfang der Akademie ihren Platz in unseren Herzen

gefunden. Da Joy immer ihre Ruhe behält, war sie wahrhaftig unser Fels in der Brandung. Mit ihrer unabhängigen und selbstbestimmten Art und Weise hat sie ihren Platz im UV-Vis-Team gefunden. Dort war sie die Mami des UV-Vis-Geräts und hat dieses immer mit sehr viel Liebe und Leidenschaft gepflegt.

Laura K. erhellt den Kurs jeden Tag mit ihrer warmen und herzlichen Art und sorgt dafür, dass sich jeder wohlfühlt. Auch in der Küche war sie sehr aktiv. Zusammen mit Christian sorgte sie dafür, dass wir für unsere Modelle genügend Nahrung hatten, sodass diese nicht verhungerten, indem sie sich zum Beispiel durch Gemüseabfälle wühlte. Auch am Exkursionstag kümmerte sie sich um die Zubereitung des leckeren Apple Crumbles.

Laura M. verbreitete im Kurs eine gute Stimmung. Laura ist sehr organisiert und zeigte das beim Präsentationstag. Sie war sich nie zu schade, etwas Neues auszuprobieren, in den KüAs aber auch im Kurs. Beim Volleyball kann man ihr breites Lächeln schon von Weitem sehen. Nicht zu vergessen ist ihre zweite Hälfte, Naomi, immer an ihrer Seite, zusammen waren sie nicht aus dem Kurs wegzudenken.

Leopold kann auch in den stressigsten Situationen immer die Ruhe bewahren und logisch denken. Egal, wie früh wir aufstehen, Leo ist immer perfekt gestylt. Er war auch immer für einen Lacher zu haben und hat inner- und außerhalb des Labors aktiv mitgeholfen, um unser Projekt voranzubringen.

Marisa ist im Kurs sehr durch ihre engagierte, ambitionierte und warmherzige Art aufgefallen. Wenn die anderen Fragen hatten, war sie jederzeit für eine kluge Antwort bereit. Trotz ihres starken Fokus für unser Thema war sie immer für einen Spaß zu haben. Ihre Intelligenz konnte sie besonders gut im UV-Vis-Team beweisen, dort hat sie maßgeblich zum Gelingen der auffallend genauen Kalibriergerade beigetragen.

Moritz ist der Lustige aus unserem Kurs. Immer hat er einen Witz oder einfach einen lustigen Spruch parat. Dadurch kann er auch in stressigen Situationen immer die

Stimmung auflockern und für einen Lacher sorgen. Wenn er mal in Fahrt kommt, ist er aber bei seiner Arbeit nicht aus der Ruhe zu bringen.

Naomi hat durch ihre emotionale und herzliche Art und ihr ansteckendes Lachen eine große Rolle für den starken Zusammenhalt im Kurs gespielt. Umso größer war ihre Trauer beim Abschied, niemand konnte ihrer Umarmung entkommen. Durch ihre Begabung beim Fotos Schießen fing sie einzigartige Momente ein. Ihren Spitznamen Noomi Abi verschaffte sie sich durch ihre soziale Art und Offenheit gegenüber Allen.

Nina hat unseren Kurs immer zusammengehalten. Sie war die Erste, die am Morgen ein Lächeln parat hatte. Außerdem stand sie uns immer zur Seite, wenn wir Hilfe brauchten. Ihr Humor war in jedem Moment eine wichtige Bereicherung des Kurses. Mit ihrer Offenheit als Schülermentorin war sie immer für einen da. Sympathie und Problemlösung stehen bei Nina ganz oben.

Eröffnungswochenende

LEOPOLD TAITSCH

Am Eröffnungswochenende hatten wir die Möglichkeit, unsere Kursleiter, unsere anderen Kursmitglieder und die gesamte Akademie kennenzulernen. Am Tag der Anreise ging es für uns nach dem gemeinsamen Plenum direkt in die Kurse. Durch verschiedene Spiele lernten wir unsere Namen und bekamen auch erste Eindrücke von den anderen Kursmitgliedern, deren Alter, Hobbys und Heimatort. Noch am selben Abend wurden wir bereits in das Thema unseres Kurses eingeführt: die Aufnahme und Verdauung von Arzneimitteln in unserem Darm. Um dies zu erklären, sollten wir in der Akademie ein Modell bauen, das den menschlichen Magen-Darm-Trakt darstellt. Um in das Thema einzusteigen, starteten wir einen kleinen Versuch mit Löffelbiskuits, Essigessenz und Natron, um den Vorgang der Verdauung in einem vereinfachten Modell zu simulieren, jedoch war der Anblick, der sich uns bot, nicht sehr appetitlich, und wir fragten uns auch, wie man einen Verdauungsvorgang so schnell darstellen

kann und ob dieses Modell wirklich die menschliche Verdauung simuliert, wenn wir während der Akademie nicht 20 Minuten, sondern 2 Wochen an einem Modell arbeiten sollten.

Der zweite Tag war sehr von Theorie geprägt. Dabei ging es vor allem um die Feststellung von Wissensständen und das Erlernen von Basics für den weiteren Verlauf der Akademie. So präsentierten uns unsere Kursleiter zum Beispiel den Aufbau des menschlichen Verdauungstraktes und wie genau dieser funktioniert. Nach dieser Theorie waren wir alle jedoch besorgt, da wir nicht wussten, ob es in der Akademie jeden Tag mit so viel Theorie weitergehen würde. Am letzten Tag des Eröffnungswochenendes ging es an die Planung unserer Modelle. Dafür teilten wir uns in Gruppen auf, um gemeinsam den Aufbau unserer Modelle zu besprechen. Wir sammelten Ideen, zeichneten Skizzen und diskutierten über mögliche Umsetzungen des Modells. Dabei entstanden zum Teil auch sehr kreative Ideen, welche wir, aufgrund ihrer Ungewöhnlichkeit, sehr lustig fanden.

Bevor wir aber diese Modelle genauer beschreiben können, wollen wir auch hier einen kurzen Einblick in die theoretischen Grundlagen geben.

Verdauung des Menschen

MORITZ THEN

Die Nahrung wird im menschlichen Verdauungstrakt schrittweise verdaut. Die Verdauungsorgane können Sie in Abb. 1 sehen.

Nahrung wird mit dem Mund aufgenommen und dort als erstes durch die Zähne mechanisch zerkleinert. Die zerkleinerte Nahrung wird nun mit dem Speichel, welcher das Enzym Amylase enthält, angefeuchtet. Die Amylase beginnt schon im Mund, die Stärke, also die großen Kohlenhydrate, in kleine Kohlenhydrate wie Maltose zu spalten und die langen Zuckerketten in Glukose. Nach dem Anfeuchten mit Speichel wird die zerkleinerte Nahrung zu einem schneeballfeuchten Speisebrei geformt und geschluckt. Danach wird der Speisebrei über die Speiseröhre durch die Peristaltik, welche eine muskelgesteuerte Wellenbewegungen ist, in den Magen transportiert.

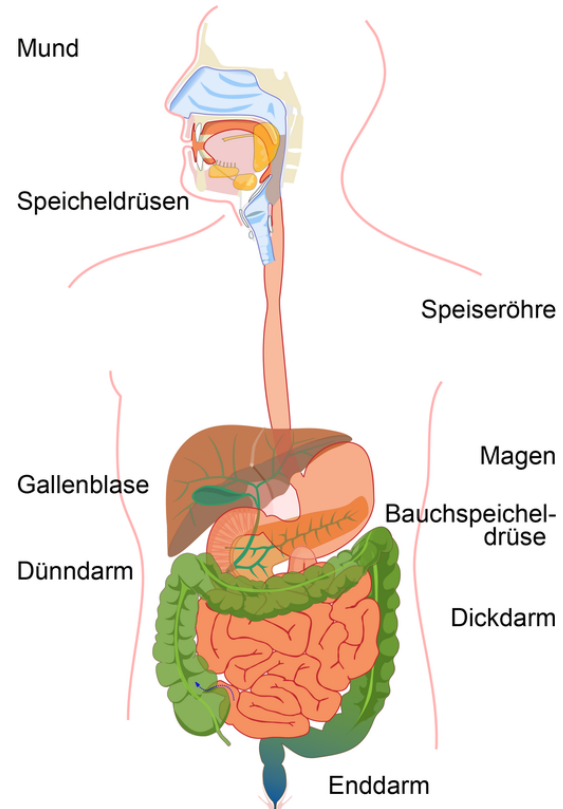


Abb. 1: Weg der Nahrung durch den menschlichen Körper¹

Im Magen wird die Nahrung vorverdaut und der Speisebrei wird durch Muskelbewegungen durchgemischt. Außerdem befindet sich im Magen Magensäure, die dafür sorgt, dass im Magen ein saurer pH-Wert zwischen eins und drei herrscht. Dadurch werden Bakterien abgetötet und Eiweiße denaturiert. Beim Denaturieren verlieren die Eiweißmoleküle ihre natürliche dreidimensionale Struktur und sind deshalb für die Verdauungsenzyme leichter zugänglich. Bei der Vorverdauung im Magen werden durch das Enzym Pepsin Eiweiße in kleinere Peptide gespalten.

Im Zwölffingerdarm wird der pH-Wert des Speisebreis wieder auf einen Wert von sechs bis sieben neutralisiert, damit der Dünndarm nicht zersetzt wird und die Enzyme nicht zerstört werden. Die Bauchspeicheldrüse liefert außerdem wichtige Enzyme für die Verdauung und die Galle gibt die Gallenflüssigkeit dazu, die Fette emulgiert, weshalb die Enzyme diese besser angreifen können.

¹Abbildung nach Wikimedia, als gemeinfrei gekennzeichnet.

Durch das Enzym Lipase werden Fette in Glycerin und Fettsäuren gespalten. Das Enzym Amylase spaltet die restliche Stärke und durch Proteasen (z. B. Trypsin) werden Eiweiße in Aminosäuren gespalten.

Schließlich werden die Nährstoffe wie Glukose, Aminosäuren, Fettsäuren, Vitamine und Mineralstoffe in die folgenden Abschnitte des Dünndarms transportiert, wo sie über die Darmzotten der Darmwand ins Blut oder die Lymphbahnen aufgenommen werden. Die Wand des Dünndarms besteht aus vielen zirkulären Schleimhautfalten, den sogenannten Kerckringschen Falten, und Zotten, die eine möglichst große Oberfläche auf kleinem Raum schaffen, was das Prinzip der Oberflächenvergrößerung darstellt. Bei den Zotten, auch Villi genannt, handelt es sich um finger- bis blattförmige Ausstülpungen der Dünndarmschleimhaut, die ihrerseits aus vielen Darmepithelzellen bestehen. Die Oberflächen dieser einzelnen Epithelzellen sind wiederum mit Mikrovilli, also sehr feinen fadenförmigen Zellfortsätzen besetzt, um die gesamte Resorptionsfläche des Darms erheblich zu vergrößern. Dies können Sie in Abb. 2 sehen.

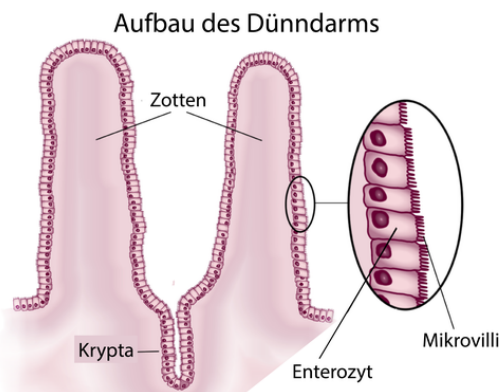


Abb. 2: Aufbau des Dünndarms²

Anschließend gelangt der Nahrungsbrei in den Dickdarm, wo dem Speisebrei Wasser und Mineralstoffe entzogen werden. Außerdem zersetzen die Darmbakterien unverdauliche Reste, zum Beispiel Ballaststoffe, und produzieren Vitamine wie Vitamin K. Zum Schluss werden die nicht verwertbaren Reste als Kot im Enddarm gespeichert und über den After ausgeschieden.

²Abbildung nach Wikimedia-User McortNGHH, CC BY-SA 4.0.

pH-Wert und Neutralisation

JULIA KAUPA

Im Magen-Darm-Trakt ändert sich der pH-Wert oft. Während wir essen, wird im Magen Säure hinzugegeben und danach wird sie von Basen neutralisiert.

Der pH-Wert beschreibt, wie sauer oder basisch (alkalisch) eine wässrige Lösung ist. Er wird als negativer dekadischer Logarithmus der Konzentration der Oxoniumionen (H_3O^+) definiert. Er ist ein Maß für die Stärke der sauren beziehungsweise basischen Wirkung einer wässrigen Lösung. Der Begriff leitet sich von „pondus Hydrogenii“ oder „potentia Hydrogenii“ ab und bedeutet übersetzt „Stärke des Wasserstoffs“. Die Skala des pH-Wertes geht von 0–14, wobei 0 stark sauer und 14 stark basisch bzw. alkalisch ist. Der Bereich um pH 7 gilt als neutral (Beispiel: destilliertes Wasser).

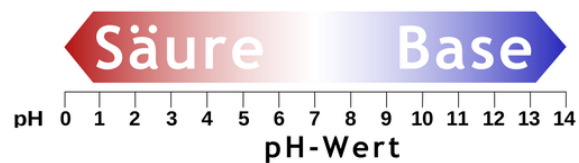
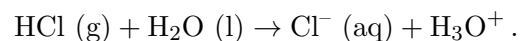


Abb. 3: pH-Werte-Skala von 0 bis 14³

Saure Lösung

Saure Lösungen sind wässrige Lösungen, die höhere Konzentration an Wasserstoffionen (H^+) als an Hydroxidionen (OH^-) enthalten und somit als Protonendonatoren wirken. Beispiele dafür sind Salzsäure, Zitronensäure und Essig. Sie entstehen zum Beispiel in der Reaktion von Wasser mit Chlorwasserstoffgas (siehe Abb. 4 A):

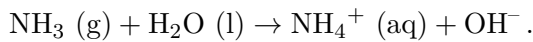


Alkalische Lösung

Alkalische Lösungen hingegen sind wässrige Lösungen, die höhere Konzentration an Hydroxidionen (OH^-) als an Wasserstoffionen (H^+) ent-

³Abb.: Wikimedia-User Palmstroem, CC BY-SA 4.0.

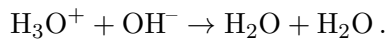
halten und somit als Protonenakzeptoren wirken. Beispiele hierfür sind Ammoniakwasser, Natronlauge und Seife. Sie entstehen beispielsweise in der Reaktion von Wasser mit Ammoniak (siehe Abb. 4 B):



Neutralisation

Die Reaktion von Säure (Oxoniumionen) und Base (Hydroxidionen) zu Wasser, bis pH-Wert 7 erreicht ist (Neutralisationspunkt), wird als Neutralisation bezeichnet. Die ätzenden Wirkungen der Säure und Base haben sich gegenseitig aufgehoben. Eine Neutralisationsreaktion verläuft exotherm, das heißt Energie wird abgegeben.

Die allgemeine Gleichung für eine Neutralisationsreaktion lautet (siehe Abb. 4 C):



Insgesamt ergibt sich so beispielsweise die Reaktion von Salzsäure mit Natronlauge:

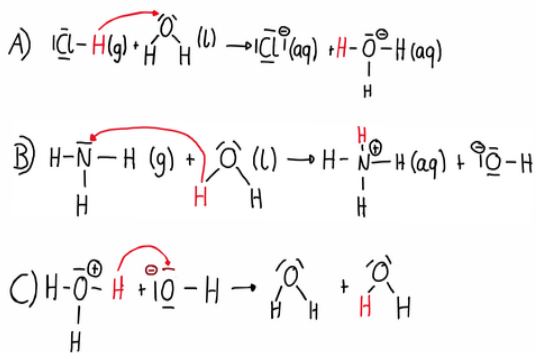
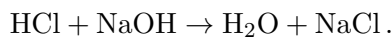


Abb. 4: Reaktion von Chlorwasserstoff und Ammoniak mit Wasser, allgemeine Neutralisationsreaktion

pH-Wert in unserem Magen-Darm-Trakt

In den meisten Bereichen des menschlichen Magen-Darm-Traktes (Mundhöhle, Speiseröhre, Dünndarm und Dickdarm) ist der pH-Wert etwa neutral (ca. 6–7). Der Magensaft im Magen hingegen ist sehr sauer (pH-Wert 1,5–3,5).

So ist es möglich, dass er die Nahrung im Magen zersetzt. Im Zwölffingerdarm wird der Nahrungsbrei von dem alkalischen Gallensaft (pH-Wert 7,5–8,5) wieder neutralisiert. Ohne diese Neutralisation könnten die Verdauungsenzyme im folgenden Dünndarm nicht richtig arbeiten und die Darmschleimhaut würde stark beschädigt.

Barrieren

IVAN VELEV

Damit ein Wirkstoff aus dem Nahrungsbrei in die Blutbahn gelangt und nicht ausgeschieden wird, muss er die Barriere des Dünndarms überwinden. Dabei gibt es mehrere Transportwege:

1. Ein wichtiger Weg ist die passive Diffusion. Hierbei bewegen sich kleine, fettlösliche Moleküle von einem Bereich hoher Konzentration – zum Beispiel im Darminhalt – in einen Bereich niedrigerer Konzentration – das Blut. Dieser Prozess läuft ohne Energieverbrauch ab.
2. Viele Stoffe nutzen Transportproteine in der Zellmembran. Diese wirken wie Kanäle oder Träger, die bestimmte Moleküle erkennen und sie durch die Zellmembran leiten. Manche arbeiten passiv, andere aktiv, indem sie Energie verbrauchen, um ein Molekül gegen sein Konzentrationsgefälle zu transportieren.
3. Bei größeren Molekülen kann auch ein Transport in Bläschen (Vesikeln) stattfinden. Die Zelle umschließt den Stoff, bringt ihn durch die Zelle hindurch und gibt ihn auf der anderen Seite wieder frei.
4. Zusätzlich gibt es sogenannte Efflux-Transporter, die die Stoffe gezielt wieder aus der Zelle heraus schleusen, oft zurück in den Darm. Auf diese Weise kann der Körper verhindern, dass unerwünschte Stoffe ins Blut gelangen.
5. Schließlich können sehr kleine, wasserlösliche Moleküle auch zwischen den Zellen hindurch in die Blutbahn gelangen. Diese sogenannte parazelluläre Passage ist jedoch stark eingeschränkt, da die Zellverbindungen nur eine geringe Durchlässigkeit haben.

BCS und Curcumin

IVAN VELEV

Da ein Arzneistoff in gelöster Form durch die Zellen der Darmwand aufgenommen wird, spielen sowohl seine Löslichkeit – in welchem Maß sich der Stoff im Darmsaft lösen kann – als auch seine Permeabilität – die Fähigkeit, die Zellmembran der Darmepithelzellen zu durchdringen – eine entscheidende Rolle.

Das Biopharmazeutische Klassifikationssystem (BCS) teilt Arzneistoffe anhand dieser beiden Eigenschaften in vier Klassen ein:

- BCS-Klasse I: hohe Löslichkeit, hohe Permeabilität
- BCS-Klasse II: geringe Löslichkeit, hohe Permeabilität
- BCS-Klasse III: hohe Löslichkeit, geringe Permeabilität
- BCS-Klasse IV: geringe Löslichkeit, geringe Permeabilität

Arzneistoffe der Klasse I werden in der Regel am besten resorbiert, während Stoffe der Klasse IV die größten Herausforderungen für die orale und andere, extragastrointestinale Aufnahmen (z. B. über Haut, Lunge oder Rektum) darstellen.



Abb. 5: Das gezeigte pulverisierte Curcumin wurde als Arzneistoff-Surrogat eingesetzt

Viele neue Wirkstoffe gehören heute zur Klasse IV. Da solche Substanzen für die Forschung oft sehr teuer sind, werden häufig Modellsubstanzen verwendet, die ähnliche Eigenschaften besitzen. Ein Beispiel dafür ist Curcumin (ein gelber Bestandteil in der Curcuma, siehe Abb. 5): Es ist schlecht wasserlöslich und hat

eine geringe Permeabilität, ist aber kostengünstig und ungiftig. Außerdem erleichtert seine intensive Farbe die experimentelle Auswertung. Curcumin hat nicht nur die Eigenschaften von Arzneistoffen, sondern ist auch gegen verschiedene chronische Krankheiten wirksam, darunter verschiedene Krebsarten, Diabetes, Herz-Kreislauf-, Lungen-, Neuro- und Autoimmunerkrankungen.

DC-Theorie

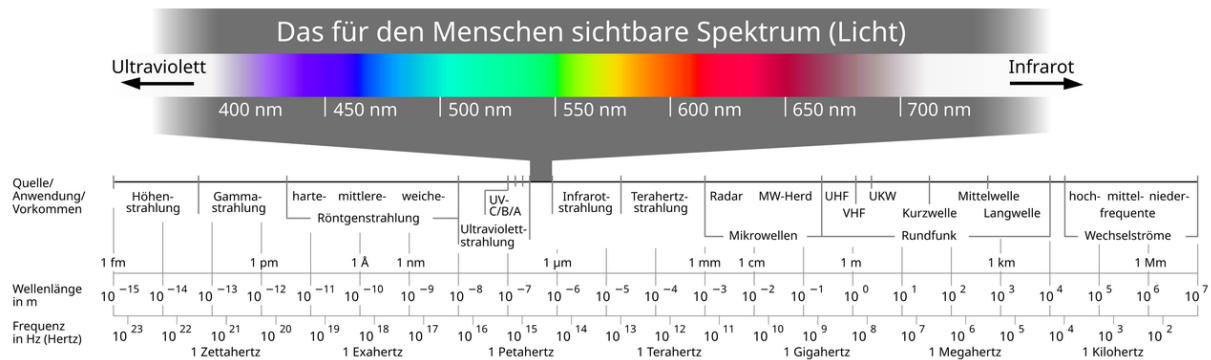
CARA ROULLET

Ein häufig angewendetes Analyseverfahren in der Chemie ist die Dünnschichtchromatographie, abgekürzt auch DC genannt. Man wendet sie an, um mit Hilfe von Löslichkeiten festzustellen, welche verschiedenen Stoffe ein flüssiges Stoffgemisch beinhaltet.

Eine DC besteht aus zwei Phasen: einer mobilen und einer stationären Phase. Die stationäre Phase ist meist ein rechteckiger Ausschnitt Filterpapier oder ein mit Kieselgel beschichtetes Glas- oder Aluminiumplättchen. Für die DC, die wir durchführten, verwendeten wir Filterpapier. Die mobile Phase ist ein Lösungsmittel, das mindestens einen Teil der Bestandteile der Proben lösen kann.

Um nun eine DC durchzuführen, zogen wir zuerst eine zum Boden des Filterpapiers parallele Linie mit einem Bleistift, die sogenannte Startlinie. Nun gaben wir einen kleinen Tropfen der zu testenden Probe auf die Startlinie und markierten, welche Probe vorlag. Wollten wir beispielsweise diese Probe auf Curcumin testen, platzierten wir einen Tropfen Curcuminlösung neben dem Tropfen der Probe auf der Startlinie und markierten diesen erneut. Anschließend stellten wir die stationäre Phase aufrecht in ein luftdicht abgeschlossenes System, in das wir vorher die mobile Phase eingefüllt hatten. Wichtig hierbei zu beachten, ist, dass die mobile Phase die Startlinie noch nicht berühren darf.

Mithilfe der Kapillarkräfte zieht sich die mobile Phase in der stationären Phase hoch und löst dabei manche Stoffe aus der Probe. Da die verschiedenen Bestandteile der Probe unterschiedlich gerne und damit auch unterschiedlich lange

Abb. 6: Spektrum des für den Menschen sichtbaren Lichts⁴

in der mobilen Phase bleiben, bewegen sie sich folglich unterschiedlich weit nach oben auf der stationären Phase. Zuletzt warteten wir, bis die Laufmittelfront fast das obere Ende der stationären Phase erreicht hatte, und nahmen sie dann aus dem abgeschlossenen System heraus. So wird die Probe in ihre einzelnen Bestandteile aufgespalten, die als unsichtbare oder schwer sichtbare Punkte auf der stationären Phase zurückbleiben. Im Idealfall können wir nun mit einem UV-Gerät die einzelnen Punkte klar erkennen. Wir verglichen in unserem Beispiel nun, ob in der Spalte des Curcumins ein Punkt zu sehen war, den es auf der gleichen Höhe auch in der Spalte der Probe gab. Sollte das der Fall sein, so enthielt die Probe Curcumin. Mit diesem Analyseverfahren können wir Stoffe zwar nachweisen, jedoch nicht ihre Konzentration bestimmen.

UV-Vis-Gerät und Kalibriergerade

FABIENNE WEBER, MARISA HENSEL

Um nun auch quantitativ das Curcumin in unseren Proben zu bestimmen, benötigten wir ein UV-Vis-Gerät (siehe Abb. 7), welches uns dabei geholfen hat, die Absorption von Lösungen zu bestimmen.

Um die Proben auswerten zu können, mussten wir zunächst den Curcumingehalt in der Isopropanol-Wasser-Lösung bestimmen. Dies ist durch die Gelbfärbung der Lösung aufgrund des Curcumins möglich (siehe Abb. 8). Dabei ist zu beachten, dass je höher die Konzentration



Abb. 7: Bild des verwendeten UV-Vis-Geräts

des Curcumins in der Lösung ist, desto intensiver ist auch die Färbung und die Absorption des Lichtes.

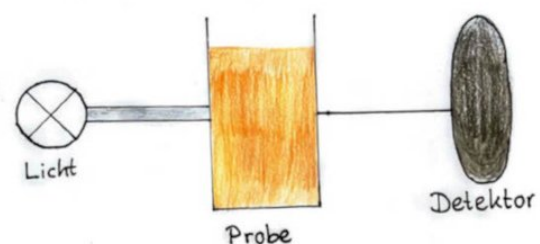


Abb. 8: Lichtweg im UV-Vis-Gerät

Da das weiße Licht, das wir wahrnehmen, aus verschiedenen Wellenlängen besteht (siehe Abb. 6), die von unterschiedlichen Stoffen absorbiert werden können, mussten wir zunächst die geeignete Wellenlänge finden. Um in der Praxis die Wellenlänge herauszufinden, die von Curcumin am stärksten absorbiert wird, überprüft das UV-Vis-Gerät alle möglichen Wellenlängen auf die größtmögliche Absorption.

⁴Abb.: Wikimedia-User Horst Frank / Phrood / Anony, CC BY-SA 3.0.

Bei unserem Versuch betrug diese Wellenlänge 286 nm, welche bei den Folgeversuchen beibehalten wurde. Deswegen verwendeten wir nur diesen Teil des Lichtes.

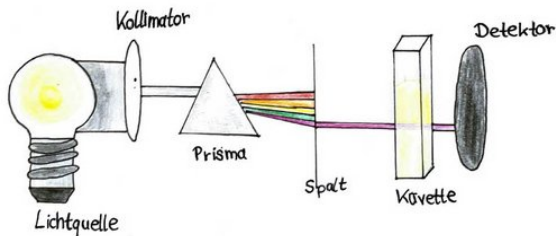


Abb. 9: Aufbau der UV-Vis Messung

Das Curcumin absorbiert nur einen kleinen Teil des Lichtes. Daher wäre der Intensitätsunterschied zwischen eingestrahlttem Licht und dem Licht, das am Detektor ankommt, sehr klein, wenn das gesamte weiße Licht verwendet würde. Deshalb verwendeten wir nur den Teil des Lichtes, den das Curcumin auch absorbiert. Damit ist die Differenz zwischen dem Licht, das ausgestrahlt wird, und jenem, das beim Detektor ankommt, maximal. Nur wenn dies der Fall ist, können wir die Absorption genau messen (siehe Abb. 9).

Die Kalibriergerade

Da das UV-Vis-Gerät nur Absorptionswerte bestimmen kann, mussten wir eine Kalibriergerade erstellen, um die Konzentration des Curcumins herauszufinden.

Zuerst führten wir eine Blindprobe durch, indem wir die Absorption des Isopropanol-Wasser-Gemischs ohne Curcumin bestimmten. Anschließend stellten wir eine Stammlösung aus 150 ml Isopropanol-Wasser-Gemisch und 2 g Curcumin her. Danach fertigten wir verschiedene Konzentrationen des Isopropanol-Wasser-Gemischs und des Curcumins an, indem wir zehn Verdünnungen von je 4 ml ansetzten. Danach konnte mit dem UV-Vis-Gerät die Absorption bestimmt werden, welche wir je viermal maßen. Die gemessenen Mittelwerte trugen wir dann in ein Koordinatensystem ein. Um bei der Kalibriergerade genauere Werte zu erhalten, erstellten wir mehrere Kalibriergeraden. Dabei sind die Absorptionswerte von 0,2 bis 0,8 proportional zur dazugehörigen Konzentration.

Dies fanden die Wissenschaftler Lambert und Beer heraus. Das Lambert-Beer'sche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen der Absorption des Lichtes (Extinktion) einer Lösung und der Konzentration des absorbierenden Stoffes in dieser Lösung sowie der Schichtdicke der Probe (siehe Abb. 10).

$$E_x = \epsilon \cdot c \cdot d$$

Abb. 10: Lambert-Beer'sches Gesetz zur Berechnung der Absorption entsprechend der Konzentration

Unsere Kalibriergerade kann man in Abb. 11 erkennen. Im Koordinatensystem wird die Konzentration in mg/ml auf der x -Achse gegen die Absorption auf der y -Achse aufgetragen. Unsere Messwerte sind hierbei durch die blauen Punkte gekennzeichnet, die jeweils den Mittelwert aus den vier von uns gemessenen Werten anzeigen. Es ist zu erkennen, dass in unserem Fall die Absorptionswerte von circa 0,1 bis 0,82 proportional zu der dazugehörigen Konzentration sind. In der Abbildung steht R^2 für die Abweichung unserer Messwerte von der vom Programm errechneten Geraden. Der Wert liegt hier bei circa 0,999, was bedeutet, dass eine Übereinstimmung von 99,9 % vorliegt.

Die Funktion, die unsere Kalibriergerade beschreibt, lautet:

$$f(x) = 2,2342x + 0,0059.$$

Wenn man einen Absorptionswert gemessen hat, muss man die Formel anschließend nach x umstellen und für $f(x)$ den gemessenen Absorptionswert einsetzen. Das Ergebnis ist hierbei die Konzentration des Curcumins in unserer Probe in mg/ml.

Sowohl in der Praxis als auch in der Theorie kam es bei der Auswertung zu Problemen. Da die Stammlösung, die wir hergestellt hatten, Curcupulver enthielt, wir jedoch nur Curcumin brauchten, waren Schwebeteilchen von der Curcuma in unserer Stammlösung, so dass wir diese filtrieren mussten. Daher ist ein

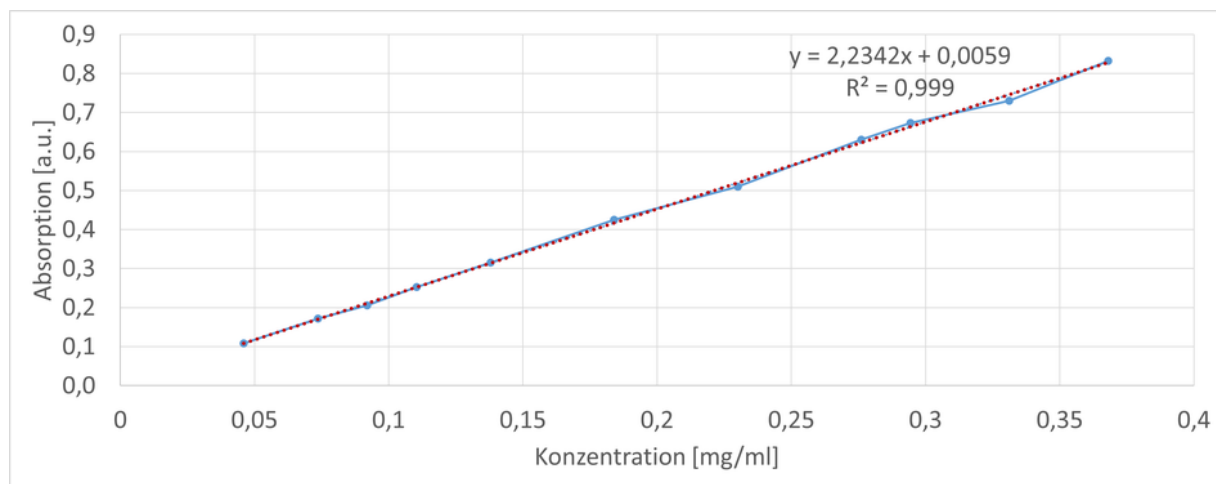


Abb. 11: Kalibriergerade von Lösungen verschiedener Curcuminkonzentrationen

großer Teil des eingerechneten Curcumins im Filterpapier hängen geblieben, weshalb wir eine berechnete Absorption von 150 % hatten und somit eine neue Kalibriergerade erstellen mussten. Auch aufgrund von Messungenauigkeiten beim Einwiegen der Curcuma kam es zu Abweichungen.

Modelle

NAOMI LANGER

Um unsere Kursfrage, wie Arzneistoffe ins Blut aufgenommen werden, zu beantworten, wollten wir ein Darmmodell bauen, in dem die Vorgänge des Magen-Darm-Trakts und vor allem des Jejunums, das ein Teil des Dünndarms ist, darzustellen. Mit dieser Modellentwicklung begannen wir am Eröffnungswochenende und setzten diese in der Zeit bis zur Sommerakademie fort. Zunächst war unser Plan, ein Modell des gesamten Magen-Darm-Trakts zu bauen, auf der Sommerakademie entschieden wir uns jedoch dazu, zwei verschiedene Modelle zu bauen. Diese sollten sich auf unterschiedliche Schwerpunkte spezialisieren. So bauten wir ein statisches Modell und ein dynamisches Modell.

Statisches Modell – Grundlagen und Bau

NAOMI LANGER

Das statische Modell sollte so aufgebaut sein, dass wir viele verschiedene Nahrungsmittel und

ihre Auswirkung auf die Aufnahme von Curcumin ins Blut testen konnten. Um schnell einen Nahrungsbrei, wie er im Jejunum ankommt, herzustellen, mischten wir diesen separat in einem Messbecher an.

Wir begannen damit, 200 g des jeweiligen Nahrungsmittels abzuwiegen und in den Messbecher zu füllen. Anschließend pürierten wir die Nahrung mit zugegebenem Wasser, welches als Speichel diente. In diesen Nahrungsbrei fügten wir 3 g Curcumin hinzu und mischten es unter. Um die Magensäure darzustellen, mischten wir 25 ml Salzsäure zu und ließen diese eine bestimmte Zeit einwirken, die wir abhängig von der Dauer, die die Nahrung normal im Magen verbleibt, herunterrechneten. Bei jedem Nahrungsmittel teilten wir die Dauer erst durch zwei und dann durch drei. Dieses Verfahren führten wir durch, da wir nur eine halbe Portion der jeweiligen Nahrung nutzten (Teilung durch zwei), da die Verweildauer aber immer noch zu lang war suchten wir einen Divisor, der passte, und dieser war die drei. Nach der Einwirkzeit maßen wir den pH-Wert und von diesem abhängig mischten wir zur Neutralisation Natronlauge unter. Wir begannen mit 25 ml Natronlauge und, falls nötig, ergänzten wir immer etwas mehr, bis der pH-Wert neutral (pH 6–7) war. Auch die Natronlauge mussten wir einwirken lassen, wobei wir die jeweilige Einwirkzeit hier genauso berechneten wie die Einwirkzeit der Salzsäure. Zu dem neutralisierten Nahrungsbrei gaben wir Enzyme in Form von Tabletten hinzu. Hierzu nutzten wir eine

Pankreatin-Tablette und, wenn Milchprodukte enthalten waren, noch eine halbe Laktase-Tablette. Wir verwendeten nur eine halbe Laktase-Tablette, da wir nur eine halbe Portion der Nahrung benutzten und somit eine halbe Tablette ausreichte.

Von dem fertigen Nahrungsbrei gaben wir jeweils 10 g in einen 10 cm langen Dialyseschlauch, eine semipermeable Membran, und verschlossen diesen mit zwei Klammern. Die Schläuche hängten wir in jeweils ein 250 ml-Becherglas mit 150 ml 20 % Isopropanol-Wasser-Lösung, sodass das Curcumin in das Alkohol-Wasser-Gemisch diffundieren konnte. Wir wählten Alkohol als Lösungsmittel, da wir bei Vorversuchen festgestellt hatten, dass sich Curcumin in Wasser nur schwer löst, wogegen es in Alkohol gut löslich ist.

Um die Aufnahmebedingungen des Körpers besser darstellen zu können, erhitzen wir die Isopropanol-Wasser-Lösung zuvor auf 37 °C (Körpertemperatur). Die Dialyseschläuche ließen wir 6 Stunden in der Lösung und zogen nach jeweils 2, 4 und 6 Stunden Proben. Der Aufbau dieses Modells ist in Abb. 12 gezeigt.

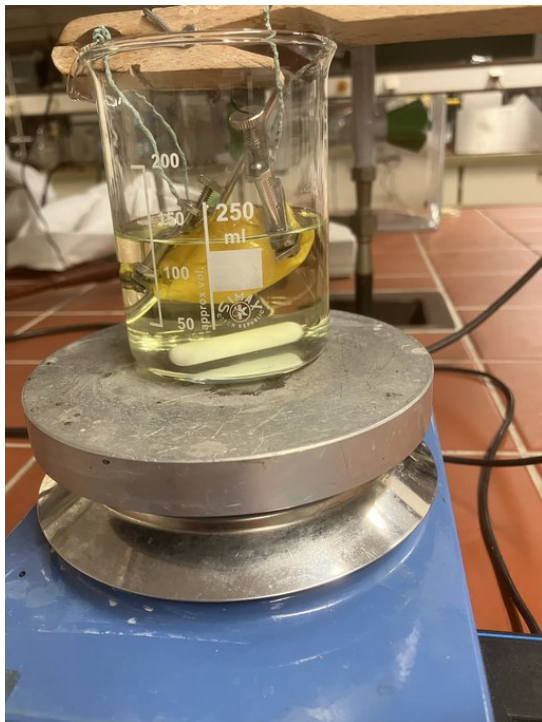


Abb. 12: Darstellung des statischen Modells

Dynamisches Modell – Grundlagen und Bau

AARON STRAUCH

Das zweite Modell, welches in Abb. 13 zu sehen ist, sollte möglichst realitätsnah sein. Dafür versuchten wir, die Nahrung, wie beim Menschen auch, durch mehrere Abschnitte zu trennen und zu überführen.



Abb. 13: Darstellung des dynamischen Modells

Um der menschlichen Physiologie nahezukommen, wurde die Nahrung mithilfe eines Mixers zerkleinert und mit 50 ml Wasser als Speichelerersatz vermischt. Daraufhin gaben wir das Curcumin hinzu und füllten das Gemisch durch einen Trichter, einen Silikonschlauch als Speiseröhre und schließlich in eine PET-Flasche, die den Magen ersetzte. Als Alternative für die zersetzende Magensäure verwendeten wir Salzsäure. Der Nahrungsbrei verweilte eine Stunde im Magen und wurde dann in die zweite PET-Flasche, den Zwölffingerdarm, umgefüllt. Damit wir die Neutralisation durch die Gallensäften und die Enzymzugabe erreichten, befanden sich 50 ml Natronlauge in der Flasche und sowohl Pankreatin- als auch Laktase-Tabletten (falls ein Nahrungsmittel verwendet wurde, dass Laktose enthält) wurden hinzugegeben. Dort verweilte das Gemisch weitere 20 Minuten. Um die Bewegungen im menschlichen Körper zu simulieren, wurden die beiden Flaschen während der Zeiträume geschüttelt. Damit letztendlich die Absorption nachgewiesen werden konnte, füllten wir den Nahrungsbrei in einen Silikonschlauch mit einem kleinen Abschnitt eines Dialyseschlauchs. Der Dialyseschlauch ist ei-

ne semipermeable Membran, die Bestandteile wie Curcumin durchlässt. Durch Vorversuche ergab sich, dass Curcumin in Alkoholen die größte Löslichkeit aufweist. Deshalb legten wir den Dialyseschlauch in ein 20 % Isopropanol-Wasser-Gemisch. Auch hier wurde durch eine Peristaltikpumpe die Bewegung im Dünndarm nachgestellt und der Nahrungsbrei 24 Stunden im Kreis gepumpt.

Vorversuche

CARA ROULLET, LAURA MACH

Die Vorversuche dienten dazu, die Funktionsfähigkeit der Versuchsanordnung zu überprüfen und mögliche Anpassungen zu testen. Da der Dialyseschlauch zum Zeitpunkt der Versuche nicht zur Verfügung stand, wurde vorläufig eine durchlässige Cellophanfolie als Ersatz eingesetzt. Abb. 14 zeigt ein Foto eines Vorversuches.

Dabei wurden Versuche mit Wassermelone als Modellsubstanz auf drei Heizplatten parallel durchgeführt. Hierbei fiel auf, dass bei der Neutralisation deutlich mehr Base benötigt wurde als erwartet. Wir vermuten, dass sich dies durch den unerwartet sauren pH-Wert der Melone erklären lässt. Zusätzlich ergaben sich Herausforderungen bezüglich der Temperaturkontrolle und der Verdunstung des Isopropanol-Wasser-Gemischs. Die Verdunstung führte zu einer Konzentrationsänderung, die die Ergebnisse beeinflussen könnte.

Die Vorversuche zeigten, dass die geplante Versuchsanordnung zuverlässig funktionierte und die Versuchsidee praktisch gut umsetzbar war. Diese Erkenntnisse bildeten die Grundlage für die Durchführung der späteren Hauptversuche. Eine detaillierte Auswertung der Vorversuche war nicht möglich, jedoch lieferten die Beobachtungen wichtige qualitative Hinweise für die Optimierung der späteren Hauptversuche.

DC-Auswertung

CARA ROULLET

Mit einer DC wollten wir testen, ob bei den Vorversuchen Curcumin in unser Lösungsmittel,



Abb. 14: Darstellung des Vorversuchs im statischen Modell

20 % Isopropanol-Wasser-Gemisch, diffundierte. Auf die Startlinie gaben wir einen Tropfen unseres simulierten Mageninhalts nach dem Verzehr einer Wassermelone (Abb. 15, U), einen Tropfen Curcuma-Isopropanol-Lösung (Abb. 15, Co) und jeweils einen Tropfen Lösungsmittel aus den Bechergläsern der verschiedenen Heizplatten der Vorversuche (Abb. 15, A, B, C).

Zu beobachten sind zwei besonders helle Punkte bei U und Co, sehr schwach ausgeprägte Punkte bei A, B und C und eine leuchtende Linie kurz vor dem Ende des Filterpapiers (Abb. 15, 1). Was bei U und Co leuchtet, sind alle pflanzlichen Bestandteile der Curcuma, die sogenannten Curcuminoide. Die Laufmittelfront, die wir bei 1 sehen, leuchtet wegen des Curcumins, das die mobile Phase bis nach dort oben laufen ließ. Aufgrund der Durchgängigkeit der Linie lässt sich darauf schließen, dass alle Proben Curcumin enthielten. Diese Erkenntnis war für uns insofern wichtig, dass wir wussten, dass das Konzept unseres Modells funktionierte. Wir konnten somit nachweisen, dass unsere Proben Curcumin enthielten, jedoch noch nicht wie viel.

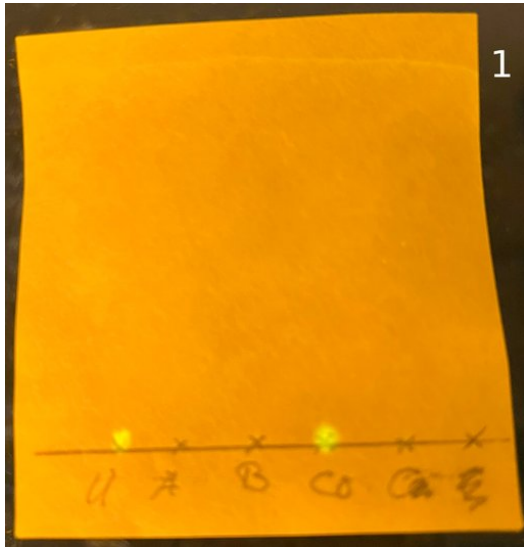


Abb. 15: Darstellung der durchgeführten DC mit Curcumin in Wasser

Nachdem wir den Vorversuch abgeschlossen hatten, konnten wir unsere Hauptversuche planen.

Nahrungsmittel

ERIK BAUHAMMER

Da wir aus zeitlichen Gründen beim dynamischen Modell nur eine begrenzte Anzahl an Lebensmitteln testen konnten, wählten wir gezielt solche aus, die typische Bestandteile einer ausgewogenen Ernährung darstellen. Mit einem Mix aus Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten wollten wir möglichst allgemeine Aussagen über den Einfluss von Nahrungsbestandteilen auf die Aufnahme von Curcumin treffen. So wollten wir neben einem „nüchternen“ auch einen „gefütterten“ Zustand nachstellen. Im dynamischen Modell verwendeten wir einen Nahrungsmix aus 80 g Glasnudeln, 5 g Eiern und 20 g Butter. Diese Kombination wählten wir, weil sie einer typischen Mahlzeit ähnelt. Die Glasnudeln liefern Kohlenhydrate, die Eier Proteine und die Butter Fette. Damit sind die drei Hauptnährstoffe einer normalen Ernährung abgedeckt, auch wenn Vitamine und pflanzliche Inhaltsstoffe fehlen. Durch diesen Aufbau wollten wir eine realistische Ernährungssituation darstellen, um die Bedingungen im „gefütterten“ Zustand möglichst realitätsnah nachzustellen.

Zusätzlich testeten wir im dynamischen Modell auch die Auswirkung von Alkohol, da wir aus den Vorversuchen wussten, dass Alkohol ein gutes Lösungsmittel für Curcuma ist. Dafür wurde Bier verwendet, dem durch kurzes Erhitzen die Kohlensäure entzogen wurde.

Im statischen Modell untersuchten wir verschiedene Lebensmittel. Käsespätzle stellen eine vollständige Mahlzeit dar. Die Spätzle liefern Kohlenhydrate, während der Käse sowohl Fett als auch Eiweiß beisteuert. Kuchen wurde als Beispiel für eine süße Zwischenmahlzeit gewählt. Er enthält viel Zucker und Fett und steht somit für einen anderen Ernährungszustand, der sich deutlich von einer Hauptmahlzeit unterscheidet. Zu diesen haben wir aber keine genaueren Informationen, da sie aus der Küche stammten. Anschließend wurden einzelne Lebensmittel getestet, um deren typische Eigenschaften besser zu verstehen. Eier wurden dabei als Modell für proteinreiche Lebensmittel ausgewählt. Sie enthalten neben Eiweiß auch kleine Mengen Fett und Lecithin, das helfen kann, fettlösliche Stoffe gleichmäßig zu verteilen. Hühnchen stand stellvertretend für Fleischprodukte. Es enthält ebenfalls viel Eiweiß und etwas Fett und ist damit ein gutes Beispiel für tierische Proteinquellen. Apfel wurde schließlich als Vertreter für Obst gewählt. Er besteht größtenteils aus Wasser, enthält einen kleinen Teil Kohlenhydrate (Zucker) und den Ballaststoff Pektin, welcher durch die hauptsächliche Verwendung von Schale und Kernen mehr vorhanden war. Der Zucker im Apfel kann die Aufnahme bestimmter Stoffe unterstützen, während Pektin als strukturgebender Stoff wirkt und eine gewisse Bindungsfähigkeit besitzt. Dadurch stand der Apfel symbolisch für pflanzliche, ballaststoff- und zuckerhaltige Lebensmittel. Wir hatten als erste Versuche beim statischen Modell auch Wassermelone und Gurke getestet, diese konnten wir wegen bemerkten Fehlern bei der Durchführung allerdings nicht in die Auswertung mit einbeziehen.

Insgesamt wollten wir ein möglichst großes Spektrum verschiedener Nahrungsmittel abdecken, um am Ende generelle Aussagen über die Auswirkung verschiedener Inhaltsstoffe treffen zu können.

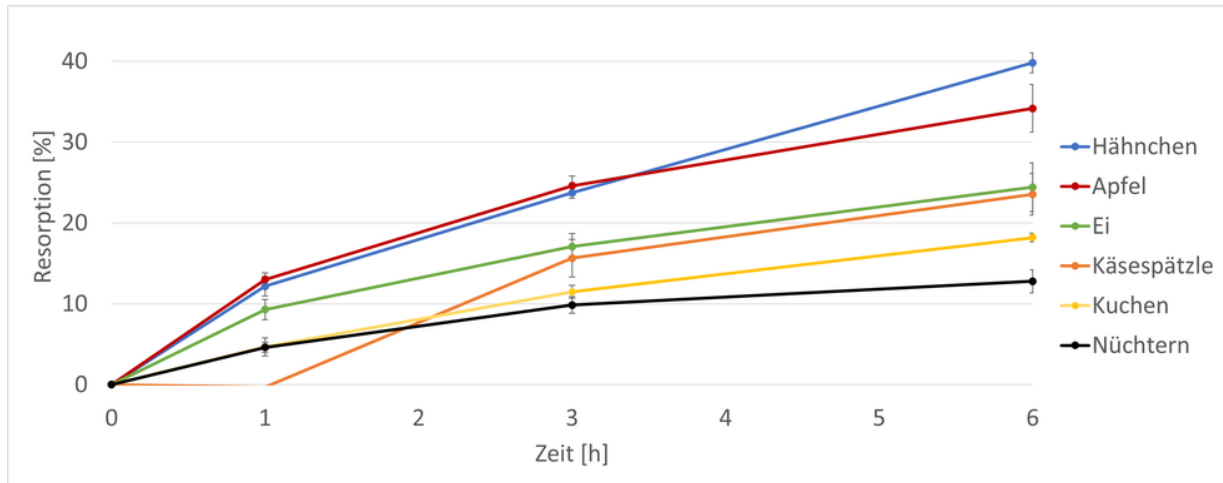


Abb. 16: Darstellung der Ergebnisse aus dem statischen Modell

Auswertung

ERIK BAUHAMMER, IVAN VELEV

Die gemessenen Absorptionswerte aus dem UV-Vis-Spektrometer allein sagten noch nichts darüber aus, wie viel Curcumin tatsächlich aus dem Darm aufgenommen wurde. Um das herauszufinden, mussten die Werte in konkrete Mengen umgerechnet werden. Auf diese Weise lässt sich bestimmen, wie viel des Wirkstoffs in die Isopropanol-Wasser-Lösung – stellvertretend für den Blutkreislauf – übergegangen war. So konnten wir vergleichen, welchen Einfluss verschiedene Nahrungsbedingungen auf die Aufnahme von Curcumin haben. Das Ziel dieser Berechnungen war daher, den sogenannten Resorptionsgrad des Curcumins in Abhängigkeit von der Zeit zu bestimmen.

Aus dem gemessenen Absorptionswert y wird mithilfe der zuvor erstellten Kalibriergeraden (siehe Abb. 11),

$$y = 2,2342 \cdot x + 0,0059,$$

die Konzentration x in mg/ml berechnet:

$$x = \frac{y - 0,0059}{2,2342}.$$

Aus der Konzentration x wird der gesamte Curcumingehalt c [mg] in der Isopropanol-Wasser-Lösung bestimmt:

$$c = x \cdot V,$$

wobei V das jeweils noch vorhandene Volumen der Isopropanol-Wasser-Lösung ist.

Da bei jeder Probenentnahme 1 ml der Lösung entnommen wurde (entspricht dem Küvettenvolumen), verringert sich das Gesamtvolumen schrittweise. Das Anfangsvolumen betrug 300 ml. Für die a -te Probe gilt daher:

$$V = 300 \text{ ml} - (a - 1) \text{ ml} = (301 - a) \text{ ml}.$$

Damit ergibt sich für den Curcumingehalt:

$$c = x \cdot (301 - a) \text{ ml}.$$

Schließlich wird der Resorptionsgrad r in Prozent berechnet:

$$r = \frac{c}{3000 \text{ mg}} \cdot 100$$

da zu Beginn 3 g Curcumin (3000 mg) in den Dialyseschlauch eingebracht wurden.

Die berechneten Resorptionsgrade r wurden anschließend in Abhängigkeit von der Zeit t in ein Koordinatensystem eingetragen. So ließ sich der zeitliche Verlauf der Resorption anschaulich darstellen.

Auswertung statisches Modell

LAURA MACH

Abb. 16 zeigt die Auswertung des statischen Modells.

Im nüchternen Zustand war die Aufnahme von Curcuma am geringsten, weil Curcumin in Wasser kaum löslich ist. Wie im Diagramm zu sehen ist, wird die Kurve dabei immer flacher,

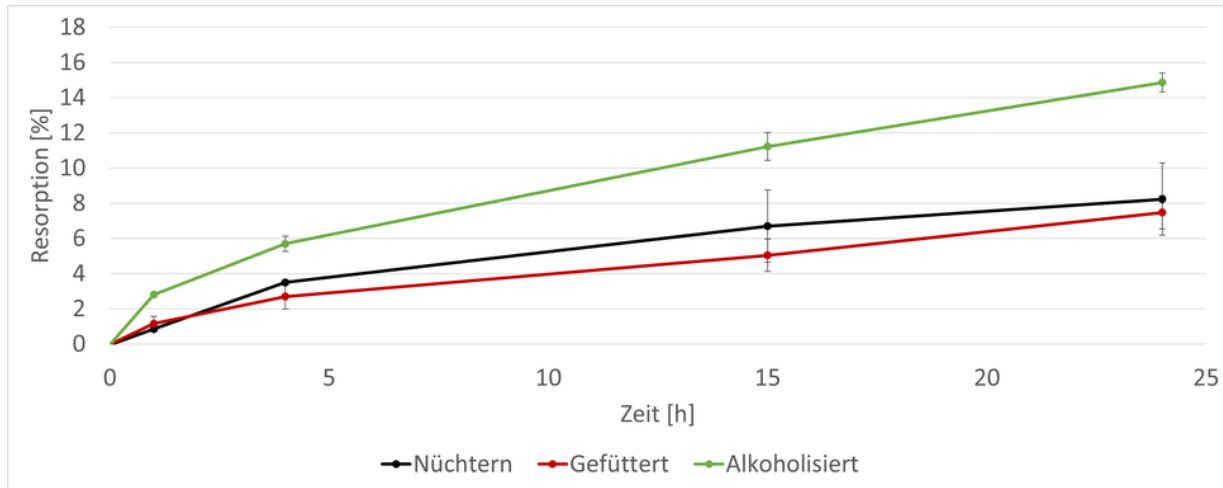


Abb. 17: Darstellung der Ergebnisse des dynamischen Modells

weil zuerst das Curcumin direkt an der Membran aufgenommen wird, danach das aus der näheren Umgebung und zuletzt aus der Mitte des Schlauches. Je weiter das Curcumin von der Membran entfernt ist, desto länger ist der Weg zur Aufnahme.

Kuchen, Käsespätzle und Ei zeigten ebenfalls eine geringe Resorption, wie der gelben, orangenen und grünen Kurve zu entnehmen ist. Dies lässt sich durch den hohen Fettgehalt erklären, weil Fett das Curcumin an sich bindet. Unter diesen Lebensmitteln weist das Ei jedoch die höchste Aufnahme auf. Der niedrige Wert der Käsespätzle nach einer Stunde ist vermutlich auf eine methodische Messungenauigkeit zurückzuführen.

Apfel und Hähnchen zeigten die beste Aufnahme. Beide enthalten nur wenig Fett, wodurch das Curcumin leichter aufgenommen werden kann. Zudem enthält der Apfel Zucker und das Hähnchen Proteine. Diese Stoffe helfen jeweils, das Curcumin zu lösen. Allerdings kann das Pektin im Apfel die Aufnahme etwas hemmen, weshalb die Resorption von Curcumin beim Apfel ab der vierten Stunde leicht geringer ist als beim Hähnchen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Aufnahme von Curcuma besonders durch fettarme Lebensmittel gefördert wurde. Zucker und Proteine halfen dabei, das Curcumin zu lösen, während zu viel Fett oder hemmende Stoffe wie Pektin die Aufnahme verringerten. Wasser allein lieferte nur eine sehr geringe Aufnahme.

Curcumin löst sich schlecht in Wasser, weil es fettlöslich und unpolar ist, während Wasser polar ist – und polar und unpolar sich nicht gerne mischen.

Auswertung dynamisches Modell

AARON STRAUCH, ERIK BAUHAMMER

Beim zweiten, dem dynamischen, Modell schafften wir nur drei Versuche – bei gefüttertem, alkoholisiertem und nüchternem Magen – da die Versuchsdurchführung zeitintensiver war. Die Graphen in Abb. 17 zeigen die Resorption nach einer bestimmten Zeit in Prozent. Die Messung der Resorption des Curcumins erfolgte nach Stunde 1, 4, 14 und 24.

Der schwarze Graph stellt den nüchternen Magen dar, der ab Stunde 4 eine höhere Steigung besitzt als der rote. Der rote Graph, der den gefütterten Zustand darstellt, hat eine geringere Steigung. Bei der ersten Messung sieht man jedoch, dass der rote über dem schwarzen liegt. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass das Isopropanol-Wasser-Gemisch zu warm wurde.

Bei dem nüchternen Magen war die Resorption ein wenig höher als bei dem Gefütterten. Man kann diesen Verlauf anhand der Butter erklären. Da Curcumin ein fettliebender Stoff ist, bindet es sich an die Butter. Somit konnte es nicht mehr durch den Dialyseschlauch diffundieren, da die Butter eine zu große Struktur besitzt. Eine weitere Erklärung wäre, dass der Nahrungsbrei, weil er dickflüssig war, den

Kontakt zwischen Curcumin und dem Dialyseschlauch verringerte und auch so weniger Curcumin in das Isopropanol-Wasser-Gemisch gelangen konnte.

Am höchsten war die Resorption beim grünen Graph, dem Alkohol. Dies lässt sich damit erklären, dass sich das Curcumin in Alkohol sehr gut lösen kann, allerdings bindet es sich nicht an den Alkohol, sondern diffundiert in das Isopropanol-Wasser-Gemisch mit höherem Alkoholgehalt.

Vergleich der Modelle

JULIA KAUPA, LAURA KREUZWIESER

Da wir mit beiden Modellen Versuche durchführten, stellten wir uns die Frage, welches Modell besser war. Dazu wurden beide Modelle verglichen, indem jeweils die Vor- und Nachteile genannt wurden.

Der Nachteil bei dem statischen Modell war, dass es realitätsferner war, da man alles, außer dem Vorgang im Dünndarm, in einem Messbecher durchführte. Die Vorteile sind, dass es zeitsparender war, weil die Einwirkzeiten sehr verkürzt wurden und somit der Ablauf im Verdauungstrakt bis zum Dünndarm höchstens eine Stunde dauerte. Außerdem konnte man im Vergleich zu dem dynamischen Modell mehr Versuche in kürzerer Zeit durchführen, da die Vorbereitungen sehr viel schneller gemacht werden konnten. Zudem war die Handhabung des statischen Modells simpel, da man den Nahrungsbrei in die Dialyseschläuche füllte und diese danach entsorgte. Die Dialyseschläuche wurden am Anfang noch wiederverwendet, da das Säubern leicht und schnell erledigt war.

Der Vorteil bei dem dynamischen Modell war, dass es realitätsnäher war, weil es verschiedene Gefäße für die einzelnen Schritte gab. Zudem wurde der Nahrungsbrei mit Hilfe einer Peristaltikpumpe durchgehend durch den Dialyseschlauch gepumpt, was die Bewegung im Dünndarm nachstellte. Der größte Nachteil war jedoch, dass das Modell durch seine Realitätsnähe deutlich zeitaufwendiger war. Dadurch konnten insgesamt weniger Versuche durchgeführt werden, da die einzelnen Abläufe länger dauerten. Das dynamische Modell war außer-

dem anfälliger für Fehler. Hinzu kam, dass es in der Handhabung komplizierter war. Es war schwerer zu bedienen, schwieriger zu reinigen und umständlicher zu befüllen.

Abschließend kann man sagen, dass beide Modelle Vor- und Nachteile hatten und es uns so ermöglichten, unser Ziel von verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten.

Fehlerdiskussion und Probleme

FABIENNE WEBER, MARISA HENSEL

Beim Bau unserer Modelle und der Durchführung unserer Versuche gab es jedoch auch einige Schwierigkeiten und Probleme.

Ein großes Problem waren Messungenauigkeiten, so war zum einen die von uns verwendete Präzisionswaage nicht mehr ganz genau, wodurch es zu Ungenauigkeiten bei der Abwaage der Curcuma kam. Durch alle anderen Messeinrichtungen wie beispielsweise Messzylinder oder Pipetten kam es zu minimalen Messungenauigkeiten. So konnte bei den Messzylindern mit dem Auge nicht exakt bestimmt werden, wann die gewünschte Menge an Flüssigkeit eingefüllt war. Somit kam es zu geringen Schwankungen in der Menge des Isopropanol-Wasser-Gemischs oder dem Anfertigen des Lösungsmittels. Durch die Pipetten kam es ebenfalls zu Ungenauigkeiten in der Menge der abgemessenen Substanzen. Diese Ungenauigkeiten lassen sich nur schwer vermeiden, hatten aber dennoch Auswirkungen auf unsere Ergebnisse. Auch das UV-Vis-Gerät konnte die Absorptionswerte nicht exakt messen.

Des Weiteren wurde zunächst mit einer falschen Wellenlänge die Absorption der Proben bestimmt, da das UV-Vis-Gerät vermutlich durch Schwebeteilchen, welche sich in der Probe, mit der das Spektrum aufgenommen wurde, befunden hatten, gestört wurde. Somit hatten wir bei unseren ersten Versuchen, wie dem Versuch mit der Gurke, die Absorptionswerte mit einer Wellenlänge von 424 nm gemessen. Diese Werte konnten, nachdem der Fehler aufgefallen war, leider nicht neu gemessen werden, da hier die Versuche schon abgeschlossen waren und wir nicht in jedem Zwischenstand extra Proben zur Nachmessung der Absorption gezogen

hatten. Aus diesem Grund konnten leider einige Vorversuche nicht in die Auswertung mit einfließen.

Dazu kam, dass wir aufgrund dieser Schwebeteilchen von Curcuma in unserer Lösung eine falsche Kalibriergerade erstellt hatten und so einige Zeit mit den falschen Werten rechneten. Nachdem uns dieser Fehler aufgefallen war, erstellten wir eine neue Kalibriergerade, bei der die Stammlösung zuerst mit einem Filterpapier gefiltert wurde. Hierbei blieben alle Schwebeteilchen und ein Großteil der Curcuma im Filter hängen. Zunächst hatten wir das nicht mit eingerechnet. Nachdem wir jedoch ausgerechnet hatten, dass über 150 % des Curcumins, das sich im Dialyseschlauch befand, in das Isopropanol-Wasser-Gemisch diffundierte, wurde von uns erneut eine Kalibriergerade angefertigt, bei der die Stammlösung zunächst gefiltert wurde. Hierbei notierten wir uns das genaue Gewicht des eingewogenen Curcumins und des Filterpapiers und anschließend wogen wir das Filterpapier zurück. Zuvor trockneten wir es einige Zeit im Trockenschrank, wobei das Isopropanol-Wasser-Gemisch verdampfte, um nur die Curcumarückstände im Filterpapier rückwiegen zu können. Wir konnten dann die Werte, bei denen die Konzentration mit der falschen Kalibriergerade errechnet wurde, aber einfach mit der neuen Kalibriergerade neu berechnen.

Zudem war die genaue Einstellung der Temperatur auf den Heizplatten problematisch. Diese waren nicht dafür geeignet, auf eine spezifische Temperatur eingestellt zu werden. Das führte dazu, dass die Temperatur manchmal deutlich unter oder über 37 °C (Körpertemperatur) lag. Folglich konnten die Werte aus den einzelnen Versuchen nicht mehr so gut verglichen werden, da die Temperaturen zeitweise stark voneinander abwichen. Bei zu hohen Temperaturen kam es auch dazu, dass Isopropanol verdampfte, wodurch der Curcumingehalt in der übrigen gebliebenen Lösung viel höher war. Dies war auch bei unserem Melonen-Vorversuch ein Problem. Hier lief eine der Heizplatten für längere Zeit auf 40 °C. Dadurch verdampfte so viel Isopropanol, dass der Dialyseschlauch am Ende nicht mehr in der Lösung hing und kein Curcumin mehr durch die semipermeable Membran diffundieren konnte.

Ein weiteres Problem, das für Messungenauigkeiten sorgte, war, dass wir die Bechergläser beim statischen Modell nicht abdeckten. So verdunstete vermutlich auch bei 37 °C ein Teil des Isopropanols.

Abschließend können wir zusammenfassen, dass unsere Ergebnisse aufgrund von Messungenauigkeiten und Fehlern keine exakten Werte darstellen. Jedoch sieht man trotz dieser Ungenauigkeiten deutliche Unterschiede zwischen den Versuchen, die nicht nur auf Messungenauigkeiten zurückzuführen sind. Man kann an unseren Ergebnissen also erkennen, wie sich das Curcumin mit verschiedenen Lebensmitteln verhält und dies auch annähernd mit der menschlichen Aufnahme von Curcumin vergleichen. Jedoch kann man aus unseren Versuchen keine exakten Werte übernehmen, da es einige Messungenauigkeiten gab und es sich nur um Modelle handelte, die nur einen geringen Teil der Wirklichkeit darstellen.

Zusammenfassung

ERIK BAUHAMMER, IVAN VELEV,
MORITZ THEN

Wir hatten viel Spaß am Bau unserer Modelle und haben insbesondere durch die Probleme viel gelernt. So lernten wir, unsere Ideen vor dem Bau genau zu entwickeln und den Bau genau zu planen. Im Laufe des Projekts lernten wir, besser zu kommunizieren und so effizient wie möglich zu arbeiten. Mit Hilfe der guten theoretischen Planung konnten wir unsere Modelle mit wenigen Hürden aufbauen und schließlich plausible Ergebnisse erzielen. Bei all dem Professionellen kam bei uns auch der Spaß nicht zu kurz.

Theorie, Praxis und Gemeinschaft

Der Kursalltag

JOY SARPONG

Der Kurs „Pharmazie – Tabletten, Snacks und Turbulenzen im Darm“ begann zunächst mit einer umfassenden theoretischen Einführung. Wir erlernten alle notwendigen Grundlagen,

um unser Ziel – die Beantwortung unserer Leitfrage – systematisch erreichen zu können. Auch wenn es zunächst sehr viele Informationen auf einmal waren, erklärten uns Jana und Christian alles Schritt für Schritt, sodass wir die Zusammenhänge gut verstanden. Die Theorie bildete damit die Basis für die anschließende Praxis im Labor.

Ursprünglich war geplant, *ein* Darmmodell zu bauen. Im Laufe der Arbeit ergab sich jedoch, dass wir zwei verschiedene Modelle bauen würden: ein statisches Modell und ein dynamisches Modell. Deshalb teilten wir uns innerhalb des Kurses in drei Teams auf: Zwei Teams arbeiteten jeweils an einem der Darmmodelle, während das dritte Team die UV-Vis-Auswertung und -Analyse übernahm. So hatte jeder eine Aufgabe und wir konnten die gesamte Arbeit effizient auf die ganze Gruppe verteilen. Die meiste Zeit des Kurses verbrachten wir im Labor, wo wir unsere Modelle bauten und viele Versuche durchführten.

Die Stimmung im Kurs war außerdem sehr angenehm: Oft lief Musik, es wurde „Cotton Eye Joe“ getanzt, und es gab Kekse, von denen man sich zwischendurch nehmen konnte. So konnten wir konzentriert arbeiten und die Pausen waren besonders entspannt.

Alles in allem war der Kurs eine gute Mischung aus Theorie, Praxis, Teamarbeit und einer lockeren, freundlichen Atmosphäre. Genau richtig, um viel zu lernen und gleichzeitig Spaß zu haben.

Der Apfelcrumbletag

LAURA KREUZWIESER

Während die anderen Kurse eine kursspezifische Exkursion machten, arbeiteten wir als Pharmazie-Kurs weiter an unserem Darmmodell. Als die anderen Kurse losfuhren, trafen wir uns wie gewohnt um 9 Uhr im Kurs. Dort führten wir unsere letzten Versuche durch.

Nach dem Mittagessen machten wir eine kursinterne KüA. Wiebke spielte mit uns in der KüA Volleyball, während ein paar Leute mit unserer Schülermentorin Nina und unserem Kursleiter Christian einen Apple Crumble backten. Dazu schälten wir die Äpfel, schnitten diese

und verteilten sie auf einer Backform. Dazu stellten wir noch Streusel her und verteilten diese großzügig auf den Äpfeln. Danach wurde alles noch goldbraun gebacken. Nachdem wir alle gemeinsam den Apple Crumble genossen, ging es für uns wieder in den Kurs zurück. In unserer Nachmittags-Kursschiene werteten wir die Versuche aus, räumten alles gemeinsam auf und vollendeten die Protokolle. Da es der letzte Tag war, an dem wir Versuche durchführen konnten, war die Freude bei allen besonders groß und alles wurde mit sehr viel Präzision umgesetzt.



Abb. 18: Momentaufnahme mit der Hand in der Streuselschüssel

Das Sportfest

LAURA KREUZWIESER

Bevor wir in das Sportfest starten konnten, mussten wir uns erst einmal einen guten Schlachtruf überlegen. Es gab sehr viele gute Ideen, aber am meisten überzeugte der Vorschlag „Wir kommen wie der Knall, Attacke Durchfall“. Vormittags hatten wir eine ganz normale Kursschiene. In dieser bereitete Nina uns auf das Sportfest vor, indem wir Liegestütze übten. Auf dem Sportplatz angekommen

wärmten wir uns gemeinsam auf, bevor wir feststellten, dass es vielleicht doch nicht viel mit Leichtathletik zu tun hatte. Die folgenden Aufgaben lösten wir alle gemeinsam gut als Kurs. Die Stimmung bei allen war immer sehr gut und wir feuerten uns gegenseitig an und agierten sehr gut als Team.

Kurszitate

„Alk 20 %“ (alternative Bezeichnung für eine 20 % Isopropanol-Wasser-Lösung)

„Finger raus aus meinem Darm!“

„Das ist doch alles für den Darm ...“

„Box—Kabel \Rightarrow Kabel—Stecker \Rightarrow Stecker—Steckdose \Rightarrow Box—happa, happa“ (Janas Anleitung fürs Laden einer Musikbox)

„Darm unter falscher Verwendung“

„Manko“ (Was auch immer das heißt)

„Janas OP-Besteck“ (für regelmäßig notwendige Darm-Operationen)

„Dusche erfolgreich getestet“ (Nina und Christian klatschnass – Notdusche funktioniert)

„Verstopfung oder Durchfall? – Durchfall auf die 1!“ (Rewe-Kassierer in repräsentativer Umfrage zur Verdauung)

„Ich fühle mich veräppelt. Wo sind die versteckten Kameras?“ (Andere Mitarbeiterin als Antwort auf die gleiche Frage)

Liste alternativer Namen für Kursteilnehmer*innen:

- Putzfee (Aaron)
- Chewbacca (Fabienne)
- Buzzer Beater (Erik)
- Jasmin (Fabienne – von Naomi spontan umbenannt)
- Krümelmonster (Christian)
- Noomi Abi (Naomi)
- Happy Joy (Joy)
- Ronny Berger (Aaron)
- Ryan Gosling (Leopold)
- Nina Chuba (Nina)



Abb. 19: Ein Kurs – ein Sportfestteam

Quellen

Hewlings, S. J., Kalman, D. S. (2017): *Curcumin: A review of its effects on human health*. Foods, 6(10), 92. DOI: 10.3390/foods6100092.

Kunnumakkara, A. B., Bordoloi, D., Padmavathi, G., Monisha, J., Roy, N. K., Prasad, S., Aggarwal, B. B. (2017): *Curcumin, the golden nutraceutical: Multitargeting for multiple chronic diseases*. British Journal of Pharmacology, 174(11), 1325–1348. DOI: 10.1111/bph.13621.

Medizininfo: Aufbau und Funktion des Zwölffingerdarms. <https://www.medizininfo.de/gastro/anatomie/zwoelffingerdarm.shtml>. Abgerufen am 26.09.2025.

netDoktor: Verdauung. <https://www.netdoktor.de/anatomie/verdauung/>. Abgerufen am 26.09.2025.

Studyflix: Verdauungsorgane. <https://studyflix.de/biologie/verdauungsorgane-31060>. Abgerufen am 06.10.2025.

Wikipedia: Membrantransport. <https://de.wikipedia.org/wiki/Membrantransport>. Abgerufen am 06.10.2025.

Wikipedia: Verdauung beim Menschen. <https://de.wikipedia.org/wiki/Verdauung>. Abgerufen am 26.09.2025.

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 22. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt erst möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Dieter Schwarz Stiftung, die Vector Stiftung, die Hopp Foundation for Computer Literacy & Informatics und den Förderverein der Science Academy gefördert. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 „Schule und Bildung“ des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 „Allgemein bildende Gymnasien“, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin, sowie dem Referat 35 „Allgemein bildende Gymnasien“ am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, namentlich Herrn Jan Wohlgemuth und seiner Nachfolgerin Frau Dr. Margret Fetzer.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Leiterin des Bereichs Akademien Frau Dr. Ulrike Leikhof, der Referentin für die Deutschen JuniorAkademien und die Deutschen SchülerAkademien Dr. Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Wir waren wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU). Für die herzliche Atmosphäre und die idealen Bedingungen auf dem Campus möchten wir uns stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums Herrn Oberstudiendirektor Martin Klaiber sowie dem Leiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Oberstudiendirektorin Dr. Andrea Merger, Leiterin des Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg, und Herrn Oberstudiendirektor Stefan Ade, Leiter des Schwetzingen Hebel-Gymnasiums, wo wir bei vielfältiger Gelegenheit zu Gast sein durften.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit dem Schülermentorenteam und der Assistenz des Leitungsteams diejenigen, die mit ihrer hingebungsvollen Arbeit das Fundament der Akademie bilden.

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

Bildnachweis

Seite 12, Abbildung DNA-Aufbau:

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

Seite 13, Abbildung DNA-Replikation:

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

Seite 15, Abbildung Ablauf einer PCR:

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

Seite 54, Abbildung ISS:

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

Seite 62, Abbildung DLR in Lampoldshausen:

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

Seite 70, Menschlicher Verdauungstrakt:

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

Seite 71, Aufbau des Dünndarms:

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

Seite 71, pH-Skala:

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

Seite 74, elektromagnetisches Spektrum:

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

Seite 89, Fotografie von Bertolt Brecht:

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

Seite 93, Büste des Aristoteles:

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

Seite 95, Gemälde von Immanuel Kant:

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

Seite 95, Fotografie von Arthur Schopenhauer:

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

Seite 97, Fotografie von Karl Marx:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_Marx_by_John_Jabez_Edwin_Mayall_1875_-_Restored_%26_Adjusted_%283x4_cropped_b%29.png

John Jabez Edwin Mayall (1875)

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 99, Gemälde von Friedrich Nietzsche:

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

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 100, Gemälde von Gotthold Ephraim Lessing:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gotthold_Ephraim_Lessing..jpg

Nach einem Gemälde von Carl Jäger (ca. 1870)

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bildern unter einer CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.

Abbildungen der Europäischen Weltraumagentur (ESA) werden gemäß der ESA Standard License für Bildungszwecke verwendet: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Copyright_Notice_Images

Abbildungen der National Aeronautics and Space Administration (NASA) können für Schulen und Lehrbücher ohne explizite Erlaubnis verwendet werden: <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>