

JuniorAkademie Adelsheim

19. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2022



Astronomie



Biologie



Mathematik/Informatik



Pharmazie/Chemie



Philosophie/Ethik



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2022**

**19. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2022:

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 19. JuniorAkademie Adelsheim 2022 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2022 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

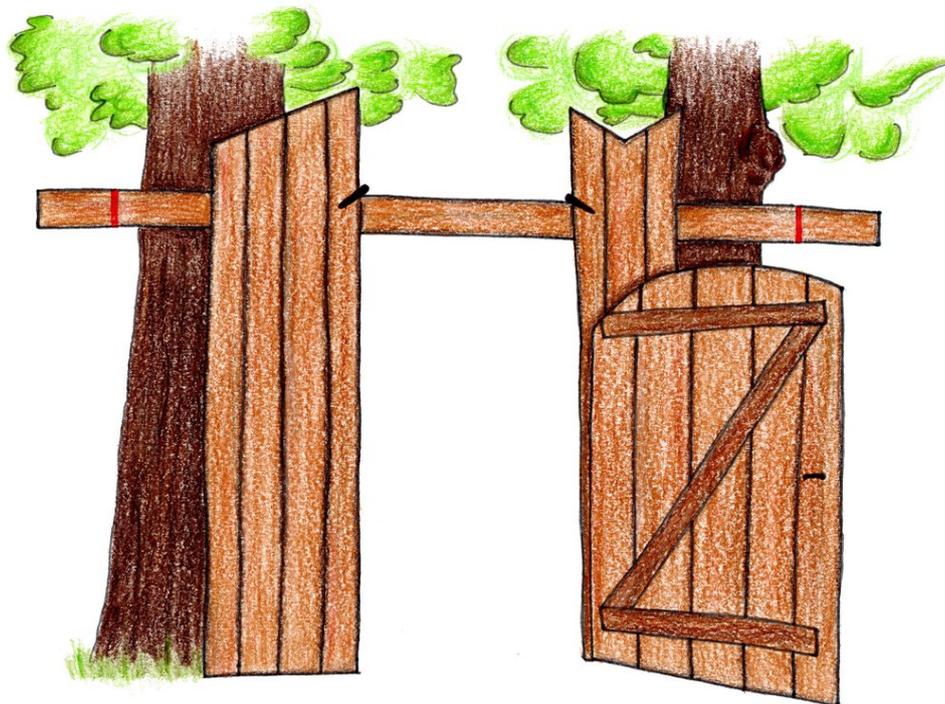
Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

treten Sie ein! Herzlich willkommen zu einem Bericht über die vielseitigen Erlebnisse der diesjährigen 19. Science Academy Baden-Württemberg!

Im Rahmen der Akademie kamen 72 Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim Eröffnungswochenende im Juni zunächst online für ein erstes virtuelles Kennenlernen mit dem Leitungsteam zusammen. Damit traten sie über die Schwelle zu neuen Erfahrungen, Freundschaften und Wissenszuwachs. Bei der Akademie im Sommer konnten wir dann unsere physische Akademietür öffnen und uns endlich in Präsenz im Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim begegnen. Dabei blieben lediglich durch Tests, Masken und weitere Maßnahmen ein paar „Schutztüren“ eingebaut.

Ein wichtiger Teil der Akademie ist die Arbeit in den sechs Kursen, die den Jugendlichen einen Einblick in wissenschaftliches Denken und Arbeiten gewährt und eine Weiterentwicklung ihrer Fähigkeiten in Bereichen wie Teamarbeit und Präsentationstechnik ermöglicht. Auch in diesem Jahr hatten die Kursleiter und Kursleiterinnen wieder spannende Themen vorbereitet.



So plante der Astronomiekurs eine fiktive Mission zum Jupitermond Europa, und der Biologiekurs beschäftigte sich damit, wie wir aus unserer Nahrung Energie gewinnen; im Mathematik-/Informatikkurs ging es dagegen um Klimamodelle und Datenanalyse. Außerdem erforschte der Kurs Pharmazie/Chemie, wie Medikamente im Körper richtig wirken, und während der Physikkurs sich mit der optimalen Ausleuchtung von Solarzellen befasste, beleuchtete der Philosophie-/Ethikkurs das Thema Gerechtigkeit.

Auch die Zeit außerhalb der Kurse war durch die Kursübergreifenden Angebote (KüAs) abwechslungsreich gestaltet. In zwei KüA-Schienen täglich konnten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vielfältige Angebote, die von Debating und PowerPoint-Karaoke über Tanzen und Häkeln bis hin zu einer Physikshow reichten, wahrnehmen oder auch selbst anleiten.

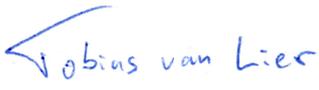
Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer konnten in den Kursen, KüAs und in der Freizeit viele Kontakte knüpfen, neue Interessen entdecken und alte vertiefen. Da so viele motivierte und interessierte Menschen zusammenkommen, ergeben sich viele spannende Gespräche und Aktivitäten. Dadurch ist die Akademie eine sehr intensive Zeit, in der wir auch in diesem Jahr wieder zu einer starken Gemeinschaft zusammengewachsen sind.

Mit all ihren Angeboten und Möglichkeiten konnte die Akademie daher viele neue Türen öffnen, passend zu unserem Motto „Türen“, das uns vom ersten Plenum beim Eröffnungswochenende bis zur letzten Minute der Akademie mit verschiedenen Aktionen und Denkanstößen begleitete. Bei diesen metaphorischen Türen kann es sich beispielsweise um andere (Zukunfts-)Perspektiven und Sichtweisen, um Erfahrungen wie die Laborarbeit und die einzigartige Akademieatmosphäre oder um neu entdeckte Lieblingsthemen handeln. Sicherlich werden diese nun offenen Türen für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer auch ein Schlüssel zu vielen weiteren neuen Möglichkeiten und Entdeckungen sein.

Beim Dokumentationswochenende schlossen wir unsere Akademietür wieder und verließen gemeinsam Adelsheim mit vielen neuen Eindrücken und Erinnerungen im Gepäck. Für ein mögliches Wiedersehen halten allen Beteiligten ihre Türkeile die Tür jedoch stets einen Spalt offen!

Vor dem Abschied entstand ein umfangreicher Bericht der fachlichen Ergebnisse und persönlichen Erlebnisse unserer gemeinsamen Akademiezeit, der nun vor Ihnen liegt. Treten Sie ein, liebe Eltern, Freunde, interessierte Leser – und vor allem „liebe Kinder“: Viel Spaß beim Lesen der Dokumentation!

Eure/Ihre Akademieleitung

Merit Neibig
(Assistenz)

Henriette Neuschwander
(Assistenz)

Tobias van Lier
(Assistenz)



Jörg Richter

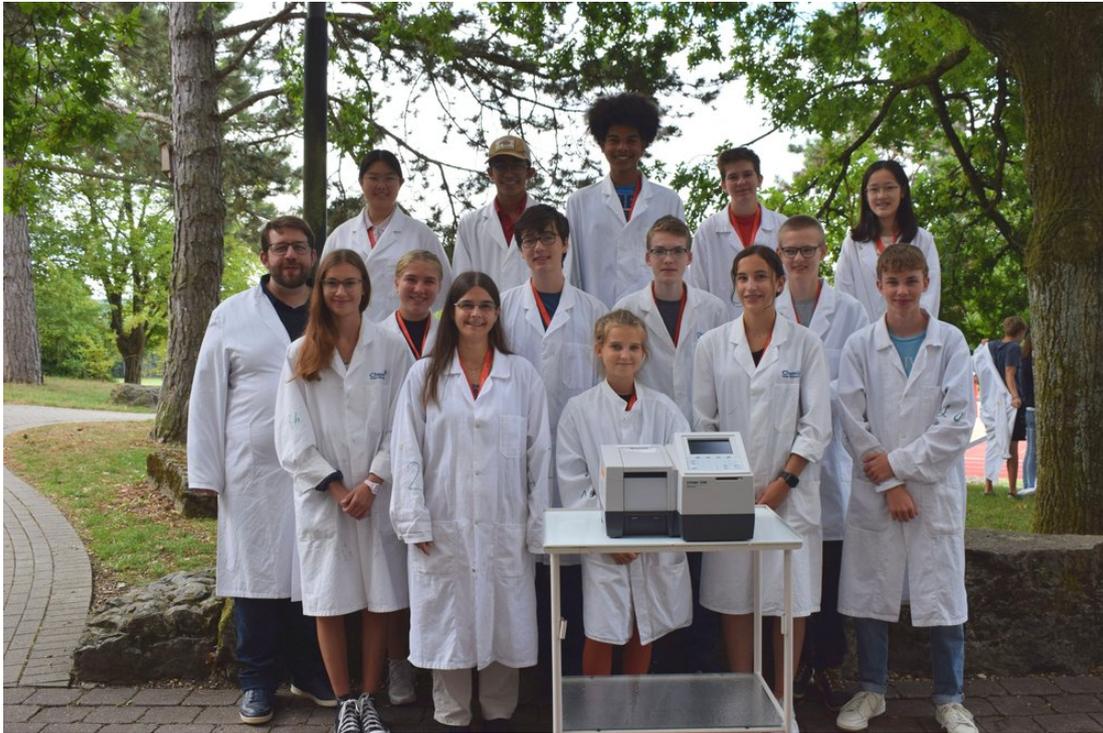


Dr. Birgit Schillinger

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	7
KURS 2 – BIOLOGIE	33
KURS 3 – MATHEMATIK/INFORMATIK	65
KURS 4 – PHARMAZIE/CHEMIE	83
KURS 5 – PHILOSOPHIE/ETHIK	105
KURS 6 - PHYSIK	131
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	149
DANKSAGUNG	173
BILDNACHWEIS	175

Kurs 4 – Woher weiß die Tablette, wo der Kopfschmerz ist?



Personenbeschreibung

DAS KRÜMELMONSTER

Jana konnte durch ihre langjährige Akademierfahrung unseren Kurs virtuos planen. Durch ihre Strukturiertheit bildete sie den Gegenpol zu Christian, war aber dennoch für Späße zu haben. Sie griff uns jederzeit auch bei der Laborarbeit unter die Arme und konnte uns stets bei Problemen einfühlsam weiterhelfen. Neben ihrer hohen pharmazeutischen Qualifizierung brachte sie unsere Präsentationsskills auf Vordermann und steckte uns alle mit ihrer großen Begeisterung für den Tee und fürs Häkeln an.

Christian das Krümelmonster hat uns als Kursleiter mit seiner Liebe zu Schokokeksen angesteckt und damit unseren Schlacht-

ruf inspiriert. Durch sein großes Wissen konnte er uns im Labor immer weiterhelfen, und er brachte uns mit seiner guten Laune und seinem ansteckenden Lachen durch die stressigen Tage.

Alex, unser Schülermentor / Freund / Helfer, stand uns bei jeder Frage und jedem Anliegen, das wir über die Akademie hatten, stets zur Seite. Er supportete uns nicht nur tatkräftig im Labor, sondern auch im „Kampf“ gegen die anderen Kurse beim Sportfest.

Aaron spielt gerne Tischtennis und ist immer hilfsbereit. Im Labor ist er gut organisiert und beim Erstellen von Grafiken am Computer macht ihm so schnell keiner was vor. Beim Hausmusikabend begeisterte er das Publikum am Klavier.

Anna ist eine kleine Sportskanone, die sehr gerne Obst isst, vor allem Wassermelone. Ihre

kreative Ader brachte sie in der Theater-KüA zum Ausdruck. Ihre aufgeschlossene und hilfsbereite Art versüßte uns so manchen Tag.

Catelyn ist eine super motivierte Person, die sehr gerne schwäbisch schwätzt und alles Mögliche weiß. Ihr Lieblingssatz, welchen sie gerne und oft in der Akademie benutzte, lautete „Ich fass’ es nicht“. Ihr musikalisches Talent bewies sie in der Musik-KüA als Konzertmeisterin.

Hannah ist unser Sport-Buddy, auch wenn Christian sie gerne für ihre müden Augen aufzog. Ihre Rhetorik bei den Präsentationen war bemerkenswert. Außerdem ist sie aufrichtig, und man kann immer mit ihr lachen.

Klara sorgte in unserem Kurs immer für eine gute Stimmung, und egal, ob es um gute Musik im Labor, interessante Gespräche oder die Tanzsessions am Abend ging, auf Klara war Verlass. Wo immer ein nicht gerichteter Kragen im Labor war, wurde er von Klara gerichtet.

Nishant oder offiziell Nika war für jeden Spaß zu haben. Mit seiner hochmotivierten und hilfsbereiten Art schaffte er es immer wieder, die Stimmung des ganzen Kurses beträchtlich zu steigern, so zum Beispiel, wenn er in überhöhter Frequenz „Cool“ durch das Labor schrie. Nicht zuletzt hat er aber den Kurs mit seinen kreativen Ideen und seinem ausgeprägtem Hintergrundwissen bereichert.

Noah blieb in Stresssituationen stets gelassen und bewahrte die Ruhe. Er war unser Fels in der Brandung, und obwohl er oft sagte „Weeeeeiß ich jetzt nich“, wusste er doch eine ganze Menge.

Oscar wirkt zwar auf den ersten Blick eher zurückhaltend, aber sein Humor brachte jeden zum Lachen. Seine strukturierte Arbeitsweise im Labor erleichterte unsere Forschung maßgeblich. Außerdem kann man sich immer auf ihn und sein durchaus ansteckendes Lachen verlassen.

Sebastian wurde durch seine präzise Ausdrucksweise und sein essentielles Mitbring-

sel – die Schokokekse – schnell zu einem geschätzten Mitglied unseres Kurses. Im Labor war er Teil des UV-Vis-Teams, dabei konnte man sich immer auf seine ordentliche Dokumentation verlassen. Auch an der Tischtennisplatte und am Schachbrett war er stets motiviert dabei.

Theo ist ein sehr wissbegieriger Geselle, der immer zu Späßen aufgelegt ist. Er ist stets freundlich und freut sich über das Zusammensein mit anderen AkademieteilnehmerInnen. In der Freizeit fand man ihn häufig an der Tischtennisplatte.

Yanchen war sehr offen und hilfsbereit, und man verstand sich von Anfang an gut mit ihr. Auch sie war begeisterte Tischtennisspielerin und spielte notfalls sogar mit ihrem Tablet. Neben dem Angebot im Kurs lernte sie auch mit Freude von anderen AkademieteilnehmerInnen.

Yunzheng konnte aufgrund ihrer krankheitsbedingten Verspätung anfangs online bei Laborversuchen und Auswertungen gleichzeitig dabei sein. Somit nahm sie die Rolle des Bindeglieds zwischen zwei Gruppen ein. Bei der Akademie sorgte sie durch ihren Humor und ihr herzliches Lachen für gute Stimmung. Auch abseits der Kursarbeit war sie aktiv, besonders in Geschicklichkeitsarbeiten, wie zum Beispiel Origami, Häkeln und Cubing.

Vorwort

ALEX FREITAG

„Pharmazie – Stark wie nie!“ Unter dieses Motto stellten wir unseren Kurs, denn um zu beantworten, woher denn eigentlich eine Tablette weiß, wo der Kopfschmerz ist, brauchte es starke Ideen, starke Nerven, starken Schwarztee und vor allem ein starkes Team. Es mag unrealistisch klingen, doch wer den Pharmazie-Chemie-Kurs live erlebt hat, weiß genau, dass all das bei uns in Hülle und Fülle vorhanden war. Und so tauchten wir in den zwei Wochen, die wir gemeinsam zwischen Kursraum und Labor in Adelsheim verbrachten, immer tiefer in die komplexe Wissenschaft der Pharmazie

ein und erforschten die Eigenschaften von Kapseln, Tabletten, Labornotduschen und Raumspalten.

Einen wissenschaftlichen Ansatz zur Beantwortung unserer Kursfrage liefert das so genannte LADME-Modell. Es stellt vereinfacht die Schritte dar, die ein Medikament im Körper durchläuft, um wirken zu können und danach wieder abgebaut zu werden. Die einzelnen Schritte dieses Modells ergründeten wir in unseren Kursschienen, in umfangreichen Theorieeinheiten und zahllosen Stunden im Labor. Dabei stellten wir fest, dass das Thema sehr interdisziplinär ist und dass das notwendige Wissen weit über den Schulstoff hinaus geht. So erhielten wir nicht nur tiefe Einblicke in die Welten der Pharmazie und der Chemie, sondern streiften auch durch die Gebiete der Medizin, Biologie, Physik und Mathematik, um die Theorie unserer Themen verstehen zu können.

Doch eigentlich ging es uns ja darum, die Dinge mit eigenen Augen zu sehen und selbst bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen mit anzupacken. Dazu boten das Chemielabor sowie die uns zur Verfügung stehenden Geräte unter anderem ein UV-Vis-Spektrometer und mehrere Fluoreszenzmikroskope, eine einmalige Gelegenheit. Im Labor stellten wir gleich zu Beginn vor allem eines fest: Hier läuft selten etwas nach Plan! Es galt, zahllose Hindernisse mit Kreativität, Geduld, Teamwork und neu gewonnener Laborexpertise zu überwinden.

Keineswegs bestand unser Kurs aber nur aus ernster Forschung und Lernen, bei dem die Köpfe rauchten. „Schokokekse! Schokokekse! MAMPF! MAMPF! MAMPF!“ lautete der zweite Teil unseres Mottos, und auch dieser entsprang direkt aus unserem Alltag. Die intensive Zeit und nicht zuletzt kontinuierliche Schokokeks-Zufuhr durch Jana und Christian schweißten uns als Team zusammen. Ob im Labor oder in der Mensa, gemeinsam wurde gelacht, geredet, getanzt und Tee getrunken (mit Schokokeksen). Wie gut wir als Gruppe zusammenarbeiten konnten, stellten wir auch beim Sportfest unter Beweis, bei dem wir nach einem legendären Kopf-an-Kopf-Rennen gegen den Astro-Kurs gewannen.

In unserer Akademiezeit sind wir zu einem einzigartigen Team geworden und haben gemeinsam verschiedene Phänomene der Pharmazie erforscht.

Wer nun also neugierig geworden ist, kann auf den folgenden Seiten viel erfahren, von Absorption und Liberation über pH-Werte und Polymerchemie bis hin zum Rührfischangeln und Kapsel-Föhnen.

Eröffnungswochenende

THEO HÖRSTER

Beim Eröffnungswochenende (EWE) lernten wir uns und unser Kursthema kennen: Dafür spielten wir gleich am Anfang eine Runde Kennlernspiele und führten danach unseren ersten Versuch durch. Am Freitag öffneten reihum alle KursteilnehmerInnen ein unterschiedlich verpacktes Päckchen, und die Zeit, die wir zum Öffnen benötigten, wurde gemessen. Dies war eine Simulation der Freisetzung eines Wirkstoffs. Das Päckchen enthielt, passend zum Fachbereich unseres Kurses, ein von unserer Kursleiterin Jana gehäkeltes Reagenzglas.

An den beiden folgenden Tagen lernten wir Grundlagen der Pharmazie kennen, zum Beispiel das LADME-Modell, den Magen-Darm-Trakt, den pH-Wert, Puffersysteme und Oxidationsreaktionen. Außerdem führten wir mit Kapseln, die uns ebenfalls von unserer Kursleitung zur Verfügung gestellt wurden, einen einfachen Liberationsversuch durch und erschlossen uns in Gruppenarbeit mithilfe von Bildern das LADME-Modell.

Obwohl wir uns leider noch nicht in Präsenz treffen konnten, herrschte insgesamt eine gute Stimmung. Die Kurstreffen waren von einer offenen und freundschaftlichen Umgangsweise geprägt. Alle Fragen, zum Beispiel zum LADME-Modell, wurden gerne und verständlich von unserer Kursleitung Jana und Christian und unserem Schülermentor Alex beantwortet. Weitere Unsicherheiten und Sorgen konnten wir am EWE zerstreuen, indem wir sie miteinander teilten. Auch hofften wir auf ein gutes Kursklima und Spaß als Gruppe.

LADME

CATELYN KNÖDLER

Um den Weg von Wirkstoffen durch unseren Körper zu betrachten, bedarf es in der Pharmazie des sogenannten LADME-Modells.

Hierbei steht LADME für:

- Liberation
- Absorption
- Distribution
- Metabolismus
- Exkretion

Damit der Arzneistoff am Applikationsort zur Verfügung steht, wird zunächst die Liberation, also die Freisetzung, betrachtet. Ziel ist die Auflösung beziehungsweise die Desintegration der Arzneiform. Wie genau die Liberation stattfindet, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Ein Faktor lässt sich mit dem BCS, dem „biopharmaceutical classification system“, beschreiben. Dieses teilt Arzneistoffe hinsichtlich ihrer Löslichkeit in Wasser und Permeabilität (Vermögen, eine Membran zu passieren) sowie ihrer Bioverfügbarkeit ein. Die Bioverfügbarkeit gibt den prozentualen Anteil des Wirkstoffs an, der unverändert im Blutkreislauf zur Verfügung steht.

Nachdem der Arzneistoff freigesetzt ist, muss er noch aufgenommen werden, was im LADME-Modell die Absorption beschreibt. Hierbei soll der Arzneistoff zum Beispiel in der Blutbahn zur Verfügung stehen, weshalb der Wirkstoff über Membranbarrieren gelangen muss.

Der Weg durch den Körper beginnt für den Wirkstoff meist mit der Aufnahme der Arzneiform durch den Mund, bei dem diese mit Speichel und Lysozym A, einem antibakteriellen Enzym, in Kontakt kommt. Die Arzneiform wandert anschließend durch die Speiseröhre in den Magen, welcher durch die Magensäure einen pH-Wert von 1 bis 1,2 hat. Nach der Magenpassage gelangt die Arzneiform in den Dünndarm. Dort steigt der pH-Wert auf einen nahezu neutralen Wert nahe 7, und die Aufnahmefähigkeit wird durch eine starke Oberflächenvergrößerung der Darmwand verbessert. Diese Oberflächenvergrößerung kommt vor al-

lem durch mehrfache Faltungen der Darmwand in verschiedenen Größenordnungen zustande.

Transportmechanismen für Wirkstoffe sind bei Darmzellen zum Beispiel die passive Diffusion und die Zytose. Bei der passiven einfachen Diffusion gelangt der Wirkstoff von einem Ort mit höherer Konzentration durch eine Membran zu einem Ort mit einer niedrigeren Konzentration, da ein Konzentrationsausgleich angestrebt wird. Die erleichterte Diffusion teilt man in die kanalvermittelte und die carriervermittelte Diffusion ein. Bei der kanalvermittelten Diffusion bilden Kanalproteine einen „Tunnel“, durch den passende Wirkstoffe diffundieren können. Die carriervermittelte Diffusion geschieht durch Transportproteine, sogenannte Carrierproteine, die auf ein bestimmtes Molekül spezialisiert sind. Nachdem der Stoff gebunden wurde, sind sie in der Lage, ihre Form zu verändern, sodass das Molekül auf die andere Seite der Membran befördert wird. Allerdings gibt es auch manche Wirkstoffe, deren Partikel zu groß sind, um die Membran zu passieren. Diese Wirkstoffe werden mithilfe von Vesikeln, kleinen Bläschen, transportiert, was man Zytose nennt. Bei dem Transport aus der Zelle heraus spricht man von einer Exozytose; bei einem Transport in die Zelle hinein handelt es sich um die Endozytose.



Volle Konzentration bei der Arbeit im Kursraum

Wenn der Arzneistoff in der Blutbahn verfügbar ist, wird er bei der Distribution verteilt. Um an den Wirkort zu gelangen und dort zu wirken, muss der Wirkstoff wieder Membranbarrieren überwinden und in freier Form vorliegen.

Oft bindet ein Teil des Wirkstoffs bei der spezifischen Bindung zum Beispiel an Enzyme oder

bei der unspezifischen Bindung an Plasmaproteine. Handelt es sich dabei um eine irreversible Bindung, ist die Abspaltung des gesamten Wirkstoffs nicht mehr möglich, und er kann keine Bindung mehr am Wirkort eingehen. Daher hat der Wirkstoff keine Wirkung, und die Umwandlung sowie die Ausscheidung findet nicht mehr statt. Bevorzugt wird deshalb die reversible Bindung, bei der ein Gleichgewicht von gebundenem sowie ungebundenem Wirkstoff vorliegt. Folglich ist ein Teil des Wirkstoffs in freier Form vorhanden und kann seine Wirkung entfalten.

Allgemein verteilen sich hydrophile – in Wasser lösliche – Wirkstoffe in Körperflüssigkeiten, und lipophile – in Fett lösliche – Wirkstoffe binden an Körperbestandteile.

Nachdem die Distribution erfolgt ist, kommt als nächster Schritt der Metabolismus, der sich vor allem in der Leber abspielt. Ziel ist die Umwandlung des Wirkstoffs, der häufig einer Biotransformation unterzogen wird. Bei den sogenannten Biotransformationsreaktionen gibt es zwei Arten:

- Die Funktionalisierungsreaktionen lassen den Wirkstoff wasserlöslicher werden. Möglichkeiten wären hierbei die Oxidationsreaktionen, die Reduktionsreaktionen und die Hydrolyse.
- Die Konjugationsreaktionen sorgen dafür, dass hydrophile, körpereigene Substanzen an den Wirkstoff angebaut werden.

Doch nicht nur Biotransformationsreaktionen haben einen Einfluss auf den Metabolismus; es gibt auch genetische Einflüsse, da zum Beispiel bestimmte Gene die Aktivität von Enzymen verändern. Des Weiteren benötigen Menschen mit einem langsameren Metabolismus eine viel geringere Menge an Wirkstoff als Menschen mit einem schnellen Metabolismus.

Zuletzt muss der Arzneistoff aus dem Körper entfernt werden. Hierbei ist es notwendig, dass er in einer ausscheidbaren Form vorliegt. Die Ausscheidungsorgane sind unter anderem die Niere und der Darm.

Die Niere stellt den wichtigsten Ausscheidungsweg dar, der in drei Phasen abläuft. Bei der glomerulären Filtration werden täglich bis zu

180 Liter Primärharn produziert. Ferner findet eine Ultrafiltration des Blutes statt, wobei große Moleküle und plasmagebundener Wirkstoff nicht filtriert werden können. Die tubuläre Sekretion sorgt für den aktiven Transport von Substanzen in den Harn mit Hilfe von Carriern. Die Konzentrierung des Primärharns erfolgt durch die tubuläre Rückresorption.

Die Exkretion über den Darm kann auf zwei Arten geschehen:

- Durch bestimmte Pumpen in den Darmzellen kann entweder unveränderter Wirkstoff oder das Umbauprodukt zurück in den Darm gebracht werden.
- Metaboliten sind Zwischenprodukte in einem biochemischen Stoffwechselweg. Sowohl sie als auch der Wirkstoff selbst können aus der Leber in die Gallenflüssigkeit abgegeben werden, die wiederum über den Darm abgegeben wird. Vor allem größere Moleküle werden so ausgeschieden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass man mithilfe der Theorie des LADME-Modells auch dem Weg von Kopfschmerztabletten in unserem Körper näher auf den Grund gehen kann.

EWE-Versuch

AARON OSSWALD

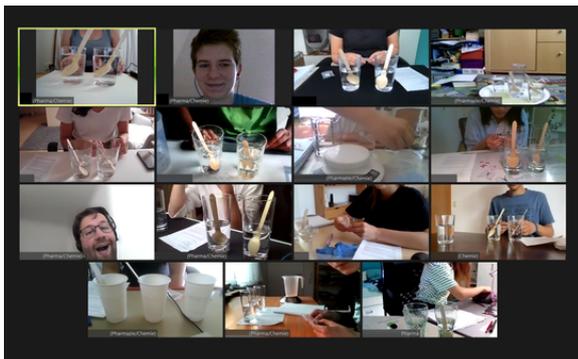
Am Eröffnungswochenende führten wir einen kleinen Versuch zur Auflösung von Kapseln durch, den wir später bei der Akademie erweiterten. Trotz der coronabedingten Onlinekonferenz meisterten wir die Einzelversuche gewinnbringend.

Dazu hatte uns Jana im Vorfeld selbst hergestellte Kapseln und Handschuhe sowie Natron und Essigessenz in kleinen Plastikgefäßen (so genannten „Eppis“) zukommen lassen. Zur Versuchsdurchführung benötigten wir drei Wassergläser mit je 150 ml Wasser. In Wasserglas eins und zwei gaben wir (saure) Essigessenz und eine Kapsel gefüllt mit Milchzucker. Glas eins enthielt eine Kapsel mit roter Wasserfarbe und einem Überzug aus Schellack, Glas zwei eine Kapsel mit blauer Wasserfarbe ohne Überzug. Wasserglas drei enthielt (basisches) Natron.

Unsere Aufgabe lautete, 15 min lang Glas eins und zwei umzurühren, anschließend die überzogene Kapsel in Glas drei zu überführen und wieder zu rühren.

Unsere Frage: Können Überzüge beeinflussen, wie sich eine Arzneiform im Körper auflöst? Können die verschiedenen pH-Werte im Körper genutzt werden, um die Freisetzung zu beeinflussen?

Alle TeilnehmerInnen beobachteten insgesamt die gleichen Vorgänge: Während sich der „Wirkstoff“, bzw. die rote Farbe, der unüberzogenen Kapsel schon nach 15 min in der sauren Lösung gelöst hatte, blieb die überzogene Kapsel in gleicher Umgebung fast unverändert. Erst in der basischen Lösung wurde die Farbe nach ungefähr 32 min sichtbar aus der Kapsel freigesetzt.



Begeistertes Experimentieren im „Homeoffice“

Der Wirkstoff der unüberzogenen Kapsel hätte sich im menschlichen Körper aufgrund der Magensäure schon im Magen gelöst, während die überzogene Kapsel ihren Inhalt wahrscheinlich bis in den Dünndarm beibehalten hätte.

Tabletten und Kapseln

NOAH KLETT

Mit diesem Wissen starteten wir dann in den Sommerferien in unsere Forschungsphase in Adelsheim.

Um weitere Überzüge zu testen, benötigt man also eine Arzneiform als „Träger“. Die gängigsten Arzneiformen sind Tabletten und Kapseln. Sie werden meist oral appliziert, also über den Mund verabreicht.

Bei Kapseln unterscheidet man Hartgelatine- und Weichgelatinekapselformen. Weichgelatinekapselformen bestehen aus einer dicken, elastischen Hülle, die nicht teilbar ist. Sie bestehen aus ähnlichen Stoffen wie Hartkapseln, oft aus Gelatine und anderen Hilfsstoffen, enthalten zusätzlich aber noch Weichmacher. Weichkapseln werden wegen ihrer aufwendigen Herstellung meist nur für flüssige und halbflüssige Inhalte, die aus dem Wirkstoff und Hilfsstoffen bestehen, verwendet. Da sie elastisch sind, müssen sie in einem Stück hergestellt werden, was das Befüllen erschwert. Deshalb werden Weichkapseln ausschließlich maschinell hergestellt, was sie für die Verwendung in unseren Versuchen ungeeignet macht.

Hartkapseln hingegen bestehen aus einer festen Hülle aus zwei Teilen, die zusammengesteckt werden können, da eine etwas größer als die andere ist. Sie werden mit Granulat oder Pulver gefüllt, welches aus dem Wirkstoff und mehreren Hilfsstoffen besteht. Durch ihre Verschlussart sind sie nicht für flüssige und halbflüssige Inhalte geeignet. Das Befüllen und Verschließen der Kapsel ist jedoch wesentlich einfacher, weshalb sich Hartkapseln eindeutig besser für unsere Versuchsreihen eignen.

Zudem verwendeten wir auch Tabletten. Sie bestehen aus gepresstem Pulver oder Granulat und können somit auch keine flüssigen Inhalte enthalten. Ein Vorteil von Tabletten ist aber, dass viele, im Gegensatz zu Kapseln, geteilt werden können. Die Herstellung von Tabletten in der Massenproduktion ist sehr effizient, weshalb sie die am weitesten verbreitete Arzneiform ist.



Links: Leere Kapseln. Rechts: Tablette mit gelbem Schellack-Überzug

Auch bei Tabletten gibt es Unterformen, man unterscheidet zwischen Dragees und Filmta-

bletten. Filmtabletten besitzen dünne Polymerüberzüge, die das Freisetzungverhalten des Wirkstoffes beeinflussen können, aber z. B. auch das Schlucken erleichtern oder Farbe und Geruch verändern.

Bei Dragees hingegen besteht der Überzug aus einer dicken Schicht aus Zucker oder Zuckersirup. Dieser beeinflusst den Geschmack und den Geruch und kann ebenfalls bei Zugabe von anderen Stoffen die Freisetzung des Wirkstoffes verändern, beim Schlucken helfen und vor äußeren Einflüssen schützen. Ihre Herstellung ist jedoch teuer, weshalb sie nur selten verwendet werden.

Polymere

NISHANT BHALLA

Da Überzüge häufig aus Polymeren aufgebaut sind, beschäftigten wir uns auch mit der diesbezüglichen Theorie.

Polymere sind Stoffe, die aus sich wiederholenden Abschnitten von Teilchen bestehen. Den kleinsten sich wiederholenden Abschnitt des Polymers nennt man Monomer. Das lässt sich aus dem Altgriechischen ableiten, wobei „poly“ mit „viele“ und „mono“ mit „ein“ übersetzt werden kann. Dabei handelt es sich um Ketten, die nicht nur in einer Dimension verlaufen, sondern die sich auch in alle Raumrichtungen fortsetzen können.

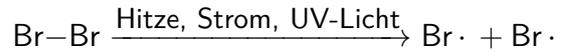
Neben den natürlicherweise vorkommenden Polymeren, wie beispielsweise Schellack, ist es möglich, Polymere künstlich herzustellen.

Das kann beispielsweise durch Radikale geschehen. Ein Radikal ist ein Teilchen, das mit vielen anderen Teilchensorten sehr schnell reagiert und dafür wenig Energie benötigt. Es ist sehr reaktionsfreudig.

Wenn man nun zum Beispiel das Polymer Polypropylen synthetisieren will, dann kann man als Reaktionsstarter das Radikal Brom nutzen.

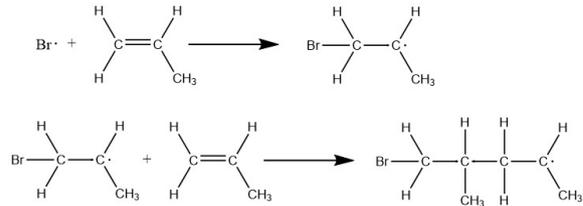
Um dieses Radikal zu erzeugen, erhitzt man ein natürlich vorkommendes Brommolekül. Dieses spaltet sich im Anschluss in zwei einzelne Bromradikale (siehe Abbildung Bromradikalbildung). Es sei angemerkt, dass das auch durch

anderweitige Energiezufuhr, wie beispielsweise das Bestrahlen, funktionieren würde.



Bromradikalbildung

Das Monomer in unserem Beispiel ist das Propen. Zum Starten der Polymerbildung gibt man die Bromradikale also in Propen, wenn die Radikale nicht schon vorher im Propen entstanden sind, weil für die Radikalbildung ein Brom-Propen-Gemisch erhitzt wurde. Nun bindet das Bromradikal an ein Propen-Teilchen, und durch diese Bindung wird ein anderes Teilchen dieses neu synthetisierten Moleküls zum Radikal. In diesem Fall ist dies das „rechts“ sitzende Kohlenstoffatom (siehe Abbildung Radikalische Kettenreaktion). Dieses bindet an ein weiteres Propen-Teilchen, bei welchem wieder ein Kohlenstoffatom zum Radikal wird und so weiter.

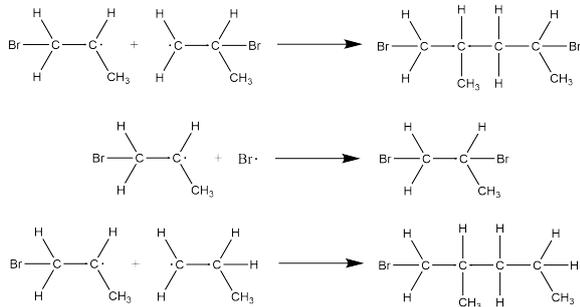


Radikalische Kettenreaktion

Sogenannte Radikalfänger sind dazu da, die Reaktion zu beenden. Das können Antioxidantien (z. B. Vitamin C) sein. Aber auch dadurch, dass der Radikalstarter während der Reaktion getroffen wird, sodass sich zwei Radikale treffen, oder dass der gesamte Vorrat an Monomeren geleert wird, kann die Reaktion beendet werden.

Natürlich werden bei der Polymerbildung mehrere Polymere auf einmal gebildet, weil es technisch nicht möglich ist, diese Reaktionen einzeln ablaufen zu lassen. Deshalb werden mehrere Radikale auf einmal verwendet. So kann es dazu kommen, dass sich zwei Moleküle, die zuvor schon mit einem Radikal reagiert haben, treffen und es zu einem Kettenabbruch kommt, wie in der Abbildung Radikalischer Kettenabbruch dargestellt. Aber es kann auch ein Bromradikal getroffen werden, das noch

nicht mit einem Propen-Teilchen reagiert hat, wie es hier in der Mitte zu erkennen ist.



Radikalischer Kettenabbruch

Wenn eine ungerade Anzahl an Radikalen verwendet wird, kann es sein, dass die Polymerbildung endet, weil ein Radikal an kein weiteres Teilchen stößt, an welches es binden kann. Dann würde dieses frei im Stoff vorliegen.

In unserem Kurs haben wir uns in unseren Versuchen mit vier Polymerarten beschäftigt. Das wären zum einen die synthetischen, also künstlich hergestellten Polymere Eudragit[®] RL30D, Eudragit[®] FS30D und Eudragit[®] L30D55. Hauptsächlich haben wir jedoch das natürliche Polymer Schellack verwendet.

Schellack kommt in der Natur als Absonderung der Lackschildlaus vor. Er ist ein gelblicher Duroplast, also ein Stoff, der sich bei hohem Druck nur schlecht verformt und einen hohen Vernetzungsgrad aufweist.

Die Eudragite[®] sind weiß aussehende Stoffe. Sie bestehen aus mehreren Polymerarten, die untereinander reagieren müssen, bevor man den Stoff anwendet. RL30D, FS30D und L30D55 sind Spezifizierungen, die aussagen, um welches Eudragit[®] es sich jeweils genau handelt.

Eudragit[®] RL30D zersetzt sich ab einem pH-Wert, der kleiner als 5–6, wodurch es sich in einem sauren Milieu, so z. B. dem Magen, löst. Eudragit[®] L30D55 zersetzt sich ab einem pH-Wert größer als 6, was bedeutet, dass es sich in einem neutralen, alkalischen, aber auch in einem leicht sauren Milieu löst, was z. B. im Dünndarm erreicht wird. Im Gegensatz dazu zersetzt sich das Eudragit[®] FS30D ab einem pH-Wert der größer als 7,2 ist, wodurch es sich in einem schwach alkalischen Milieu, beispielsweise dem Dickdarm, löst.

Nach so viel Theorie brauchten wir frische Luft und Bewegung. Dafür ideal:

Das Sportfest

THEO HÖRSTER

Unser Kurs hatte sich glänzend auf das Sportfest vorbereitet, denn es hingen Plakate mit den Akademierekorden in vielen Disziplinen, z. B. 3000-Meter-Lauf oder Hammerwurf aus. Ob und wie man diese überbieten könne, war ein wichtiges Gesprächsthema im Kurs, genauso wie die Gestaltung eines markerschütternden Schlachtrufs.

Deshalb opferten wir einen beträchtlichen Teil der Kursschiene vor dem Sportfest und suchten mit vereinten Kräften nach einem Schlachtruf. Stolz präsentieren wir nun unser Ergebnis: „Pharmazie, stark wie nie! Schokokekse, Schokokekse, mampf, mampf, mampf!“

Wir nahmen mit viel Vergnügen an den einzelnen Disziplinen teil, auch wenn wir in diesem Jahr leider keine Hämmer warfen. Stattdessen durften wir uns bei anderen, bei der Akademie ebenso traditionellen Disziplinen beweisen, die gleichermaßen Höchstleistungen erforderten wie Spaß bereiteten.

In den einzelnen Disziplinen half uns unser erstklassiges Teamwork, unsere hohe Motivation und die Erfahrung unseres Schülermentors Alex, der für unseren erkrankten Kursteilnehmer Aaron einsprang. Unser wichtigster Vorteil war jedoch unser Extrapunkt, den wir uns auf besonders sportliche Art und Weise verdienten: Am Morgen, an dem das Sportfest stattfand, nahm nur eine Akademieteilnehmerin am Frühsport teil, und zwar unsere Kursteilnehmerin Yanchen.

Dank unserer Vorbereitung und unseres Teamworks meisterten wir die meisten Disziplinen mit links. Am Ende entschied der Extrapunkt, den Yanchen bei Frühsport für unseren Kurs geholt hatte, über das Ergebnis, was während der Siegerehrung schauspielerisch geschickt dargestellt wurde.

Nach diesem spektakulären Sieg kehrten wir unso motivierter ins Labor zurück und setzten unsere Arbeit fort.

Liberationsversuche

ANNA BUCHHOLZ

Um herauszufinden, ob Überzüge die Liberation verzögern, haben wir einen vierteiligen Versuch durchgeführt.



Liberationsversuch; oben links: Herstellung der Pulvermischung, unten links: Trocknen einer Kapsel mit Pressluft, Mitte: Freisetzungsapparatur, rechts: Probenentnahme mit Kolbenhubpipette

1. Kapseln befüllen

Um die Kapseln befüllen zu können, haben wir ein Pulver aus Kurkuma und Milchzucker im Verhältnis 1:9 angerührt. Dafür benutzten wir eine Reibschale, deren Poren wir zunächst mit Milchzucker verschlossen, um keinen Wirkstoff zu verlieren. Dann vermischten wir Kurkuma und Milchzucker homogen, indem wir den Milchzucker nach und nach hinzugaben. Im Anschluss wogen wir die leeren Kapseln, um später die Füllmenge sowie den Kurkumagehalt der einzelnen Kapseln feststellen zu können. Jetzt mussten die Kapseln nur noch befüllt werden. Dafür verwendeten wir Spatel und Glasstäbchen, befüllten die Kapseln und drückten den Inhalt zusammen, um möglichst viel Wirkstoff hineinzubekommen. Schließlich wurden die Kapseln noch ein weiteres Mal gewogen und die Füllmenge berechnet.

2. Kapseln überziehen

Für das Überziehen der Arzneiform haben wir unsere Kapsel oder Tablette mit der Pinzette

in das Überzugsmittel getaucht und anschließend eine Minute an der Luft trocknen lassen, wenn wir Schellack benutzten, oder fünf Minuten mit Pressluft getrocknet, wenn wir Eudragite® nutzten. Danach wurde die Arzneiform, also die Kapsel oder Tablette, an einer anderen Stelle mit der Pinzette wieder aufgenommen und ein weiteres Mal in den Überzug getaucht. Dadurch wurden alle Bereiche der Arzneiform gleichmäßig bedeckt. Den Vorgang haben wir vier Mal wiederholt, um einen gleichmäßigen vierschichtigen Überzug zu erhalten. Zur Bestimmung des Überzugsgewichts wurde die Arzneiform ein letztes Mal gewogen.



Vorbereitungen für die Liberationsversuche

3. Kapseln/Tabletten auflösen

Um eine dem Magensaft ähnliche Lösung herzustellen, haben wir zunächst Salzsäure (Hauptbestandteil der Magensäure) mit einem sehr niedrigen pH-Wert von 1,2 auf etwa 37 °C erhitzt. Hierzu benötigten wir eine Heizplatte, einen Erlenmeyerkolben, ein Thermometer, ein Rührstäbchen und die Salzsäure. Wir haben die Arzneiform hinzugegeben und beobachtet, wie sie sich unter ständigem Rühren des Rühr-

stäbchens aufgelöst hat. Um die Konzentration des Wirkstoffes in der Salzsäure bestimmen zu können, haben wir nach 15, 30, 60, 75, 90 und 120 Minuten eine Probe von 0,5 ml mit einer Glas- oder Kolbenhubpipette genommen und mit dem UV-Vis-Spektrometer untersucht. Nach 60 Minuten haben wir zu der Salzsäure außerdem noch Natriumphosphat-Lösung hinzugegeben und den pH-Wert hierdurch auf 6,8 erhöht. Diese neue Lösung entsprach jetzt den pH-Verhältnissen im Dünndarm, in den die Arzneiform, wenn sie noch nicht aufgelöst ist, nach Passieren des Magens gelangt.

4. Ergebnisse auswerten

Um die Ergebnisse auswerten zu können, haben wir uns vorher mit dem Aufbau sowie der Funktionsweise des UV-Vis-Spektrometers vertraut gemacht.

UV-Vis-Spektroskopie

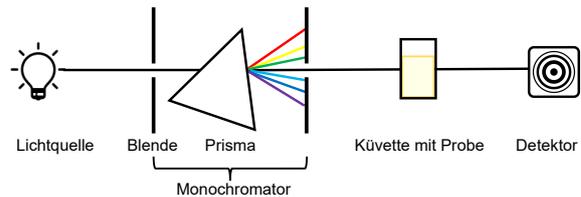
SEBASTIAN LENZ, AARON OSSWALD,
YANCHEN ZHENG

Aufbau UV-Vis-Spektrometer

Die UV-Vis-Spektroskopie (auch UV-Vis-Spektrophotometrie oder Elektronenabsorptionsspektroskopie genannt) ist ein Verfahren zur Quantifizierung von Bestandteilen einer flüssigen Probe. Dazu misst ein UV-Vis-Spektrometer das sichtbare („vis“), das ultraviolette (UV) und das nahinfrarote Licht, das durch die Probe in einer Küvette (einem lichtdurchlässigen Gefäß) nicht absorbiert wurde.

Eine Lichtquelle (Wellenlängenbereich 200 nm bis 1100 nm) strahlt Licht erst durch eine Blende, welche das Licht auf ein schmales Lichtbündel reduziert, und anschließend durch ein Prisma, welches das Licht in unterschiedliche Wellenlängenbereiche aufteilt. Mit einem Monochromator wird der gewünschte Wellenlängenbereich selektiert und das Licht auf die Probe geworfen. Dahinter misst ein Detektor das ankommende Licht und somit die Extinktion der Probe. Diese ist unsere genutzte Größe für die Abschwächung von Licht, in unserem

Fall nach dem Durchkreuzen eines Mediums, unserer Probe.



Schematischer Aufbau des UV-Vis-Spektrometers

Berechnung zum Absorptionswert

Allgemein führt eine höhere Konzentration des Wirkstoffes zu einem höheren Absorptionswert (ABS-Wert). Folglich führen verdünnte Proben zu einem niedrigeren ABS-Wert. Die absorbierte Lichtmenge ist für kleine ABS-Werte proportional zur Konzentration des Wirkstoffes.

Der ABS-Wert wurde von unserem UV-Vis-Spektrometer berechnet. Zur Berechnung der Extinktion oder des ABS-Werts sind ausschließlich die Intensitäten (Intensität am Detektor (I) und Intensität der Anfangslichtmenge (I_0)) von Bedeutung:

$$\begin{aligned} \text{Absorbanz } ABS &= \text{Extinktion } E \\ &= -\log_{10}(I/I_0) \end{aligned}$$

Kalibriergerade für das UV-Vis-Spektroskop

Um die Absorptionswerte des UV-Vis-Spektroskops in die Wirkstoffkonzentrationen umrechnen zu können, benötigt man eine Kalibriergerade.

Man misst bei bekannten Wirkstoffkonzentrationen die ABS-Werte und trägt diese in einen Graphen ein. Über die Ausgleichsgerade des Graphen kann man nun von einem ABS-Wert auf den Konzentrationswert zurückschließen. So konnten wir die Konzentrationswerte unserer Versuche errechnen und diese auswerten.

Um die Ausgleichsgerade zu erstellen, haben wir zuerst Wirkstoff, Salzsäure und Natriumphosphat mit den gleichen Verhältnissen

wie bei dem Freisetzungsvoruch in einem Erlennmeyerkolben zusammengemischt. Die Menge an Wirkstoff entsprach dabei der Menge, die wir in die Kurkumakapseln gefüllt haben, bzw. die in den ASS-Tabletten vorhanden war. Diese sogenannte Stammlösung enthält also die Wirkstoffkonzentration, die wir erhalten würden, wenn sich unser Arzneistoff bei der Freisetzung komplett auflösen würde.

Da das Verhältnis von Absorption und Konzentration bei einer zu hohen Absorption nicht mehr linear ist, mussten wir darauf achten, dass wir ABS-Werte zwischen ca. 1,0 und 0,2, der technischen Untergrenze des UV-Vis-Spektrometers, erhalten. Je nachdem, wie hoch die Lichtabsorptionswerte unserer Stammlösung waren, mussten wir diese also entsprechend verdünnen. Um eine genaue Kalibriergerade zu bekommen, haben wir bei fünf verschiedenen Verdünnungen jeweils drei Messungen durchgeführt und aus den drei Messungen jeweils den Mittelwert berechnet.

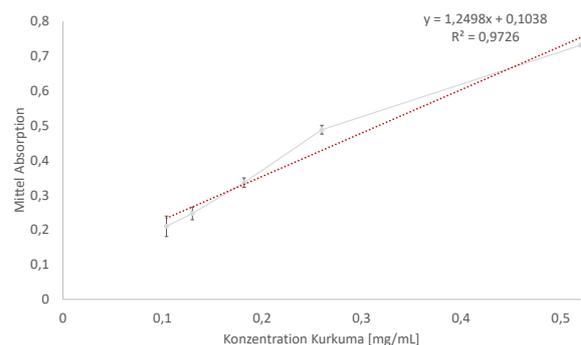
Ganz wichtig war es hierbei, ein Auto-Zero zu setzen. Das ist eine Messung der Absorption des Lösungsmittels ohne den nachzuweisenden Wirkstoff. Dieser Wert wird nachher von der Messung abgezogen, um die Absorption des Lösungsmittels nicht mitzumessen.

Kalibriergerade Kurkuma

Für die Kalibriergerade von Kurkuma haben wir uns für die Verdünnungen 1:1, 1:4, 1:6, 1:8 und 1:10 unserer Stammlösung entschieden. Verdünnen bedeutete hierbei, dass wir zu unserer Stammlösung mehr Salzsäure und Natriumphosphat hinzugeben. Wir haben also 1,04 g Kurkuma in 100 ml Lösungsmittel gelöst. Die Konzentration der Verdünnungen erhält man dann, wenn man die Konzentration der Stammlösung mit dem Faktor der Verdünnung (z. B. 1:4 = 0,25; 1:10 = 0,1; ...) multipliziert. Dabei ist 1:1 = 0,5 eine Ausnahme, die aus der Umgangssprache kommt. Als die Proben ausgemessen wurden, bemerkten wir, dass sich die Kurkuma in der Stammlösung nicht richtig auflöst, sondern absetzt. Daher haben wir uns überlegt, Ethanol zuzumischen, weil Ethanol für Kurkuma ein besseres Lösungsmittel ist.

Das erste Mal mischten wir 50 ml Stammlösung mit 50 ml Ethanol. In dieser 1:1 Mischung sollte sich die Kurkuma einwandfrei lösen und es sollte eine klare Lösung entstehen. Es passierte jedoch etwas Unerwartetes: Die Lösung wurde trüb. So eine Lösung konnten wir nicht im UV-Vis-Spektrometer auf Lichtabsorption des Wirkstoffs untersuchen, denn das Lösungsmittel absorbierte das Licht bereits komplett. Nach einigem Versuchen erkannten wir, dass wir weniger Ethanol hinzumischen mussten, wenn wir eine klare Flüssigkeit haben wollten. Wir mischten 100 ml unserer Stammlösung mit 75 ml Ethanol und konnten so mit dem Ausmessen beginnen. Im Nachhinein vermuten wir als Ursache für die Trübung, dass uns handelsübliches Ethanol zur Verfügung stand, welches vergällt worden war. Das bedeutet, dass es durch Hinzufügen bestimmter Stoffe verändert wird, um es als Alkohol ungenießbar zu machen.

Die nun klaren Verdünnungen der Stammlösung konnten im UV-Vis-Spektrometer vermessen werden. Aus den Messwerten wurden Mittelwerte berechnet und diese entsprechend der Konzentrationen in einem Diagramm aufgetragen. Durch die aufgetragenen Punkte wurde eine Ausgleichsgerade gelegt und deren Geradengleichung und Genauigkeit (Bestimmtheitsmaß R^2) abgelesen. Anhand der Geradengleichung lassen sich Absorptionswerte unbekannter Proben in Konzentrationen umrechnen.



Kalibriergerade Kurkuma

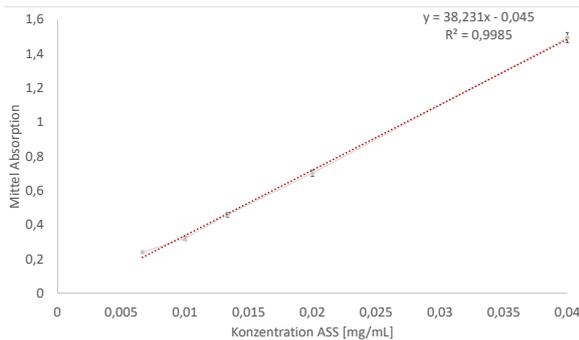
Wie man der Abbildung entnimmt, haben wir für den Zusammenhang der Absorption ABS und der Konzentration x die Gleichung:

$$ABS = 1,25 \cdot x + 0,1$$

ermittelt – diese Gleichung haben wir bei der Auswertung verwendet.

Kalibriergerade ASS

Für die Kalibriergerade der ASS-Tabletten haben wir uns für die Verdünnungen 1:25; 1:50; 1:75; 1:100 und 1:150 entschieden, da die Absorption nach dem Auflösen einer Tablette in 100 ml Lösungsmittel viel höher war als bei der Kurkuma. Hier haben wir 0,5 g ASS in 100 ml Lösungsmittel gelöst und nach demselben Prinzip wie bei der Kurkuma die Kalibriergerade ermittelt.



Kalibriergerade ASS

Auswertung der UV-Vis-Daten in Excel



Auswertung der Labormesswerte

Doch wie gelang es uns nun, allein mit unseren UV-Vis-Daten und der Kalibriergeraden die Konzentration des Wirkstoffes in der Probe so genau wie möglich zu bestimmen?

In Excel-Tabellen haben wir unsere UV-Vis-Daten ausgewertet. Dabei gingen wir immer nach den gleichen Schritten vor, hier am Beispiel der Kurkuma-Kapseln erklärt:

1. Wir notierten die ABS-Werte.

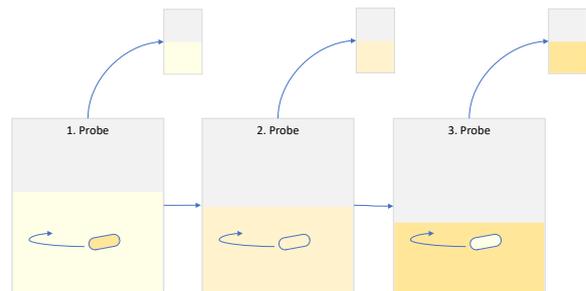
2. Wir bestimmten die Kurkumamassen in den Kapseln, indem wir die Kapselmassen mit der eingefüllten Konzentration an Kurkuma (10 %) multiplizierten:

$$\begin{aligned} \text{Kurkumamasse} &= \\ &= \text{Kapselmasse} \cdot \text{Kurkumakonzentration} \\ &= 0,6 \text{ g} \cdot 0,1 = 0,06 \text{ g} \end{aligned}$$

3. Wir berechneten die Kurkumakonzentration – hier am Beispiel für einen Messwert von $ABS = 0,5$ – aus der Geradengleichung der Kalibriergeraden $ABS = 1,25 \cdot x + 0,1$:

$$\begin{aligned} \text{Konzentration } x &= (ABS - 0,1) : 1,25 \\ &= (0,5 - 0,1) : 1,25 \\ &= 0,3 \text{ [mg/ml]} \end{aligned}$$

4. Die Menge an Füllmittel und damit auch an Kurkuma unterschied sich noch geringfügig, da die Kapseln von Hand gefüllt wurden und so eine gewisse Ungenauigkeit vorhanden war. Damit wir jedoch die Freisetzung aller Kapseln gut vergleichen konnten, war es wichtig, dass die Konzentration möglichst gleich war. Also haben wir das unterschiedliche Anfangsgewicht mit in unsere Rechnung einbezogen, sodass mathematisch alle Kapseln am Ende genau 0,05 g Kurkuma enthielten.



Probenentnahme der Liberationsversuche

5. Noch war die Kurkumakonzentration jedoch falsch, da die 0,5 ml-Probenentnahmen noch nicht in die Rechnung eingegangen waren. Nachdem die erste Probe entnommen war, war das Salzsäurevolumen und die Konzentration an Kurkuma verringert. Somit wurde letztgenanntes auf die theoretische Konzentration bei gleichem Volumen gerechnet.

6. Schließlich berechneten wir zu jedem Entnahmezeitpunkt einen Mittelwert für die

Punkte im anschließend erstellten Graphen. Außerdem fügten wir die Standardabweichung als Fehlerbalken in der Graphik ein, damit wir veranschaulichen konnten, wie weit die Werte vom Mittelwert abwichen.

Kurkuma

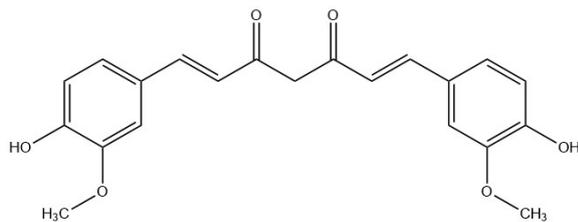
NISHANT BHALLA, CATELYN KNÖDLER

Im Folgenden wird der theoretische Hintergrund von Kurkuma für die Versuche näher betrachtet.

Üblicherweise kennt man Kurkuma als Gewürz oder als Bestandteil der sogenannten goldenen Milch. Die goldene Milch ist eine Suspension, sprich ein Gemisch aus einem Feststoff und einer Flüssigkeit, die aus dem Gewürz und der Milch besteht. Kurkuma wird aus der Pflanze *Curcuma longa*, auch bekannt als Gelbwurz, gewonnen.

Ein in unseren Versuchen wichtiger Bestandteil der Kurkuma ist das Curcumin, das der Kurkuma neben anderen Stoffen die gelbliche Farbe gibt und fluoresziert. Das bedeutet, dass auf das Curcumin eingestrahktes Licht mit einer anderen Wellenlänge wieder zurückgeworfen wird.

Allgemein ist Curcumin ein gelbes, kristallines Pulver, welches eine Schmelztemperatur von 183 °C hat und nahezu unlöslich in Wasser ist.



Strukturformel Curcumin

Kurkuma werden vielseitige positive Effekte nachgesagt, beispielsweise eine Verminderung des Krebsrisikos, von denen aber nur wenige wissenschaftlich nachgewiesen sind. Man weiß allerdings, dass Kurkuma schlecht vom Körper absorbiert werden kann, da die Löslichkeit in Wasser gering ist. Daraus geht hervor, dass die gängigen Mengen an Kurkuma keine pharmazeutische Wirkung im Körper entfalten.

Liberation Eudragit®

NISHANT BHALLA

Um nach dieser Theorieeinheit mit dem Wirkstoff zu arbeiten, begannen wir die Liberationsversuche mit den Eudragitüberzügen.

Die Kapseln, die mit den Eudragiten® überzogen wurden, haben sich, verglichen mit dem Schellacküberzug, schnell aufgelöst. Beispielsweise hat sich eine Kapsel schon nach 19 min fast vollständig aufgelöst und hat sich dann nach 56 min vollständig zersetzt.

Hinsichtlich der Beobachtungen haben wir nur zu Beginn des Liberationsversuches Proben entnommen und mit dem UV-Vis-Spektrometer ausgewertet. Denn diese bestätigten die naheliegende Vermutung, dass die Eudragitüberzüge nicht wie erwartet gewirkt haben. Um zeiteffizienter arbeiten zu können, wurde der zweite Teil des Liberationsversuches folglich abgebrochen und die Salzsäure wurde dementsprechend nicht mit Natriumphosphat-Lösung gemischt.

In Anbetracht unserer Ergebnisse ist es naheliegend, dass die Eudragite® entweder einen Produktionsfehler aufwiesen, oder dass wir in irgendeiner Hinsicht Fehler bei der Herstellung der Eudragitüberzüge gemacht bzw. Anwendungshinweise vernachlässigt haben. Es hat sich herausgestellt, dass der Fehler darin lag, dass wir die Kapseln nach dem Überziehen, wie bei den anderen Versuchen auch, ohne weitere Behandlung in unserem Liberationsversuch verwendet haben. Doch die Eudragitüberzüge bestehen aus mehreren Polymerarten, die, bevor sie zu einem wirksamen und festen Überzug reagieren können, auf eine Temperatur von 40 °C gebracht werden müssen. Diese Temperatur wird Mindestfilmbildungstemperatur genannt. Erst wenn die Mindestfilmbildungstemperatur erreicht wird, verschmelzen die Polymere zu einem festen Überzug und gewährleisten eine kontrollierte Freisetzung der Kapsel.

Da wir die Kapseln nach dem Überziehen nicht auf diese Temperatur gebracht hatten, hatten sich die Polymere auch wieder voneinander gelöst. Somit waren die Überzüge nicht wirksam, und die Kapseln konnten sich so auflösen, als wäre kein Überzug vorhanden.

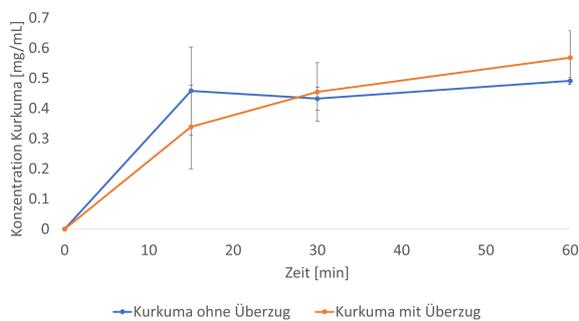
Liberation Schellack

NOAH KLETT UND YANCHEN ZHENG

Erster Liberationsversuch

In weiteren Versuchen verglichen wir mit Kurkuma gefüllte Kapseln mit und ohne Schellacküberzug.

Ziel unserer Versuche war es, den Einfluss des Schellacküberzugs auf die Freisetzung des Wirkstoffes quantitativ nachzuweisen. Wir vermuteten, dass der Schellacküberzug die Freisetzung des Wirkstoffes verlangsamt.



1. Liberationsversuch der Kurkumakapseln

Die Auswertung war durch die UV-Vis-Analyse der Proben und die dadurch erhaltenen Absorptionswerte möglich. Diese wurden über die Kalibriergerade und weitere Korrekturrechnungen (z. B. dem Ausgleich der entnommenen Flüssigkeit und dem hinzugefügten Ethanol) auf die reine, freigesetzte Wirkstoffmenge umgerechnet und in einem Graphen dargestellt.

Das Diagramm zeigt für die beiden Kapselversuche, ohne Schellacküberzug (blau) und mit Überzug (orange), die Wirkstoffkonzentration (y -Achse) in Abhängigkeit von der Zeit (x -Achse). Die Punkte sind die Kurkumakonzentration der Proben mit den dazugehörigen Fehlerbalken für die Standardabweichung, die Streuung der Messwerte um ihren Mittelwert.

Die Proben nahmen wir nach je 15, 30 und 60 min nach Versuchsstart. Die nicht überzogenen Kapseln setzen den Wirkstoff schon nach 15 min fast vollständig frei und hielten diese Konzentration. Die überzogenen Kapseln hingegen setzten den Wirkstoff langsamer frei, sodass der Wirkstoff erst nach 60 min komplett freigesetzt war. Diese verlangsamt Freisetzung

wird in der Fachsprache auch als retardierende Liberation bezeichnet.

Dass sich die Fehlerbalken der beiden Versuche überschneiden, zeigt, dass die Ergebnisse relativ ungenau waren. Kleinere Fehlerbalken würden für genauere Messwerte sprechen. Zudem sank der Wert der nicht überzogenen Kapseln bei 30 min, was bei unserem Versuchsaufbau nicht möglich gewesen sein dürfte.

Dies lässt sich durch mehrere Problemfaktoren erklären. So zeigte sich die mangelnde Laborroutine z. B. in Form von kleineren Pipettierfehlern und Unregelmäßigkeiten beim Überziehen der Kapseln, welche bei der Korrekturrechnung nicht berücksichtigt wurden. Außerdem traten Kommunikationsschwierigkeiten in Form von unzureichender Absprache und Koordinierung bei der gemeinsamen Nutzung von Laborutensilien auf, welche wir durch versetzte Probenentnahme in den folgenden Versuchen reduziert haben. Auch beeinflussten Umwelteinflüsse die Messungen. So zersetzt Sonnenlicht Teile der Kurkuma, was die sinkenden Werte erklären könnte.

Weitere verfahrensbedingte Ungenauigkeiten entstanden beispielsweise dadurch, dass sich die Heizplatten nur sehr ungenau einstellen ließen und Rührfische in manchen Fällen die Kapseln zerschlugen. Durch ein größeres Volumen in den Kolben konnten wir in nachfolgenden Versuchen letzteres Problem umgehen. Auch die zunehmende Laborroutine half bei der Durchführung weiterer Versuche.

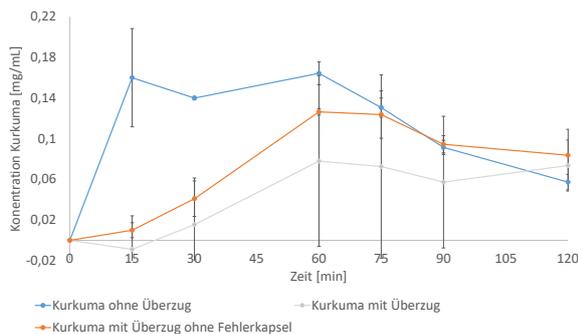
Trotz dieser Ungenauigkeiten wurde unsere Hypothese verifiziert, da der retardierende Trend im Vergleich zu der sofortigen Freisetzung sehr deutlich wurde.

Zweiter Liberationsversuch

Um verlässlichere und präzisere Daten zu erhalten, führten wir noch einen Liberationsversuch durch, bei dessen Durchführung wir die während des ersten Versuchs gewonnenen Erfahrungen berücksichtigten. Nachdem wir die Konzentration an Kurkuma in unseren Proben gemessen hatten, wiederholten wir die Schritte der Berechnungen vom vorherigen Liberationsversuch.

Nach 60 min gaben wir noch Natriumphosphatlösung hinzu, um die Änderung des pH-Wertes zwischen dem sauren Magen und dem fast neutralen Dünndarm zu simulieren. Dadurch änderte sich das Volumen unserer Freisetzungslösung. Bei der Berechnung der Konzentration haben wir dies berücksichtigt, damit wir die Freisetzungswerte miteinander vergleichen konnten. Dabei waren drei Kapseln mit Schellack überzogen und drei hatten keinen Überzug.

Wir verglichen anschließend die Werte der freigesetzten Wirkstoffkonzentration der Kapseln zu den bestimmten Zeitpunkten, indem wir aus den Kapseln mit Schellack sowie den Kapseln ohne Überzug für jeden Entnahmepunkt einen Wertedurchschnitt berechneten, um eine Grafik wie beim ersten Freisetzungsversuch zu erstellen.



2. Liberationsversuch der Kurkumakapseln

Wenn man nun die Konzentrationsgraphen der Kurkuma-Kapseln mit (grau) und ohne Überzug (blau) vergleicht, erkennt man bei den mit Schellack überzogenen Kapseln einen Retardeffekt. Der Wirkstoff wurde also verlangsamt freigesetzt, denn die Kurve verläuft am Anfang deutlich flacher und die Konzentration steigt viel langsamer an, während bei den nicht überzogenen Kapseln bereits am Anfang viel Wirkstoff freigesetzt wurde. Man sieht jedoch auch, dass die Konzentrationswerte sinken, obwohl wir in unserem Versuch eigentlich nicht für einen Abbau des Wirkstoffs gesorgt hatten. Das erklären wir uns dadurch, dass es an dem Tag sehr sonnig war und so das Sonnenlicht Kurkuma zersetzt haben könnte. Die Konzentrationswerte sanken bei den überzogenen Kapseln nicht so stark wie die der nicht überzogenen, da während der Zersetzung wei-

terhin Wirkstoff aus den überzogenen Kapseln freigesetzt wurde.

Bei der Auswertung der Konzentrationswerte der Kapseln mit Schellacküberzug fielen sofort die Werte einer Kapsel auf, die besonders niedrig waren und sogar mit der Zeit negativ wurden. Nach Abgleich mit der Versuchsbeobachtung stellten wir fest, dass sich die Kapsel nicht besonders gut löste. Das mochte an zu dicker Beschichtung gelegen haben oder daran, dass unsere Geräte wie Rührfisch und Heizplatte nicht immer gut einzustellen waren und sich der Wirkstoff daher nicht verteilt und nicht richtig gelöst haben könnte. Wir vermuteten, dass die Werte dieser Kapsel unsere Grafik fehlerhaft machten, und berechneten daher neue Mittelwerte ohne die Kapsel um einen zweiten Graphen (orange) zu erzeugen. So konnten wir unsere Vermutung prüfen und bestätigen. Der neue Graph verlief immer noch deutlich flacher und stieg langsamer als der blaue Graph der nicht überzogenen Kapseln.

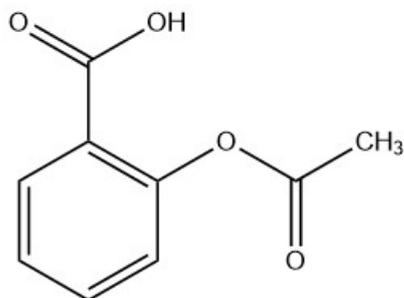
Hätten wir weitere Freisetzungsversuche mit mehr Kurkumakapseln durchführen können, hätten wir die Extremwerte ausgleichen und genauere Graphen erstellen können. Da wir jedoch zu wenig Zeit hatten, war uns das in der Akademie nicht möglich.

ASS

YUNZHENG LI

Für weitere Liberationsversuche haben wir mit Tabletten aus Acetylsalicylsäure (abgekürzt ASS) experimentiert. ASS wird als Wirkstoff von zum Beispiel Aspirin verwendet und besitzt unter anderem eine schmerzstillende und entzündungshemmende Wirkung. Sie wird aber auch zur Hemmung von Thrombozytenaggregationen eingesetzt. Genau dieser Effekt wird bei den ASS-100-Tabletten ausgenutzt und sie werden als Prophylaxe eingenommen, falls schon einmal ein Schlaganfall oder Herzinfarkt aufgetreten ist, da durch die Prophylaxe das Risiko eines erneuten Vorfalles zur Hälfte reduziert werden kann. Ferner kann bei einer höheren Dosierung gegen die Schmerzen die Blutgerinnung gehemmt werden.

Dieser Wirkstoff liegt meist als weißes Pulver oder als pyramidenförmiger Kristall vor und besitzt einen leichten Geruch nach Essigsäure.



Strukturformel ASS

In der Natur findet man Salicylsäure in der Pflanze Mädesüß. Das ist eine krautige Pflanze mit kleinen weiß-rosafarbenen Blüten auf einem dünnen und sehr zierlichen Stiel. Acetyl hingegen ist der Acyl-Rest der Essigsäure, die Acylgruppe ist eine funktionelle Gruppe (R-(C=O)).

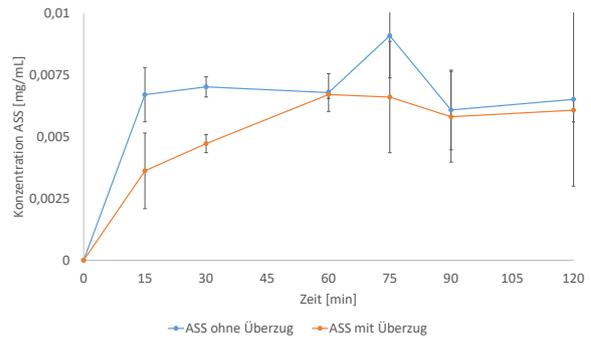
Liberation ASS

YANCHEN ZHENG

In unseren ASS-Tabletten war immer die gleiche Menge an Wirkstoff enthalten, sodass die Konzentration direkt vergleichbar war.

Wir haben die Konzentration an ASS aus den Lichtabsorptionswerten der einzelnen Proben berechnet und bei jedem Konzentrationswert den ASS-Gehalt der vorher zur Ausmessung entnommenen Proben dazu addiert. Der Durchschnitt aus den Werten der ASS-Tabletten ohne Überzug und mit Schellacküberzug wurde in einem Koordinatensystem als je ein Graph dargestellt, mit der Wirkstoffkonzentration auf der y -Achse in Abhängigkeit von der Zeit auf der x -Achse.

Bei der Messung nach 75 min konnte man dabei einen starken Anstieg der Konzentration bei den ASS-Tabletten ohne Überzug (blauer Graph) erkennen. Das erklärten wir uns damit, dass sich eventuell bei der Zugabe von Natriumphosphat-Lösung nach 60 min größere Brocken an Wirkstoff bei zwei Kapseln gelöst hatten. Das nicht gelöste Pulver könnten wir bei der Entnahme nach 75 min mit pipettiert haben. Durch die Zugabe von Ethanol hat sich



Liberationsversuch der ASS-Tabletten

das Pulver noch in der Probe aufgelöst, sodass wir eine erhöhte ASS-Konzentration gemessen haben. Nachdem sich der Wirkstoff jedoch besser gelöst und verteilt hatte, wirkte es so, als ob die Konzentration bei 90 min wieder sinken würde. Die ASS kann jedoch nicht abgebaut worden sein, sodass es sich bei dem erhöhten Wert um einen Messfehler handeln musste. Auch hier hätten wir durch weitere Versuche unsere hypothetische Erklärung bestätigen oder widerlegen können.

Durch den Freisetzungsvorversuch mit ASS-Tabletten konnten wir gut beobachten, dass der Schellacküberzug auch eine retardierende Wirkung auf die Wirkstofffreisetzung von Tabletten hat, denn auch hier stiegen die Konzentrationswerte von ASS bei mit Schellack überzogenen Tabletten zunächst langsamer an als die Werte bei den Tabletten ohne Überzug.

Damit haben wir erfolgreich an verschiedenen Arzneiformen und Wirkstoffen getestet, dass ein Schellacküberzug auf die Freisetzung des Wirkstoffes eine retardierende Wirkung hat.

Rotationspräsentation

YUNZHENG LI

Am 1. September fanden die diesjährigen Rotationspräsentationen statt. Bei diesen Präsentationen hat jeder Kurs seine bisher erarbeiteten Themen in einer Präsentation zusammengefasst und diese in Dreiergruppen jeweils drei TeilnehmerInnen der anderen fünf Kurse vorgestellt. Die Präsentationen begannen direkt nach dem Plenum und dauerten bis zum Mittagessen. Jeder Kurs hatte 15 min Zeit, um seinen Kursfortschritt zu präsentieren, und am

Ende gab es noch eine kleine Frage- und Feedbackrunde.

Leider gestalteten sich die Präsentationen etwas schwieriger als erwartet, da alle wichtigen Inhalte kurz, aber dennoch ausreichend und interessant genug zusammengefasst werden mussten, sodass daraus eine wissenschaftliche Präsentation entstehen konnte. Glücklicherweise bekamen wir jede Menge Hilfe von unseren KursleiterInnen, da sie uns immer mit nützlichen und hilfreichen Tipps unterstützten.

Am Ende des Tages haben alle TeilnehmerInnen der Akademie einen Einblick in die Themen der anderen Kurse bekommen und etwas dazugelernt.

Haut

HANNAH PULKOWSKI

Nach den lehrreichen Rotationspräsentationen arbeiteten wir an unseren Kursthemen weiter. Für den später folgenden Absorptionsversuch benötigten wir zunächst eine Theorieeinheit über die Haut.

Die Haut lässt sich grundsätzlich in drei Schichten einteilen: die Subcutis (Unterhaut), die Dermis (Lederhaut) und die Epidermis (Oberhaut).

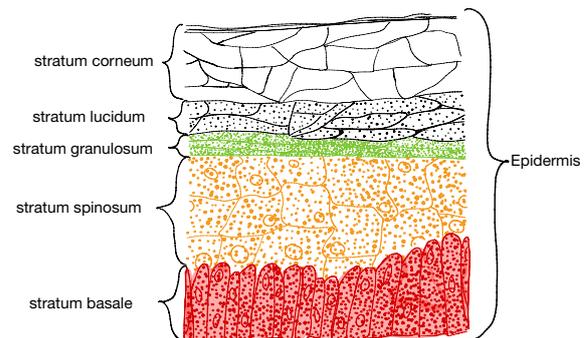
In der Unterhaut sind Bindegewebe, Fettgewebe, Nervenenden und Blutgefäße zu finden. Durch die dort vorhandenen Blutgefäße werden Leder- und Oberhaut mit Nährstoffen und Sauerstoff versorgt und das Kohlendioxid abtransportiert. Das Fettgewebe schützt das Körperinnere vor zu starken Temperaturschwankungen und bildet ein Polster, das unsere Knochen, Muskeln und Organe schützt.

Die Lederhaut liegt zwischen der Unterhaut und der Oberhaut. Sie besteht aus Bindegewebe, und in ihr sind ebenfalls Blutgefäße und Nervenfasern vorhanden. Auch Schweißdrüsen, die zur Temperaturregelung beitragen, und Strukturen, welche das Haar in der Haut verankern – sogenannte Haarfollikel –, befinden sich in der Oberhaut.

Die Oberhaut bildet eine dichte Schutzbarriere, die unseren Körper vor Erregern wie Viren und Mikroorganismen schützt. Sie besteht

noch einmal aus fünf Schichten (siehe Abbildung Aufbau der Epidermis). Direkt an die Dermis grenzt die Basalschicht (auch stratum basale), in der die Zellteilung stattfindet. Die Zellen beginnen dann, langsam in der Stachelzellschicht (stratum spinosum) zu verhornen. Es folgt die Körnerschicht (stratum granulosum), in der die Zellkerne abgebaut und die Zellen allmählich leblos werden. Darüber liegt das stratum lucidum, also die Glanzschicht, die verhindert, dass Fremdkörper in die Haut vordringen. Sie ist lediglich in der Leistenhaut, die es nur an dicken Epidermisstellen wie den Fußsohlen und Handflächen gibt, zu finden.

Die äußerste Schicht ist die Hornschicht, auch stratum corneum genannt. Hier sind nur noch abgestorbene Hautzellen, sogenannte Korneozyten, vorhanden. Diese Schicht lässt sich mit einer Ziegelsteinmauer vergleichen, bei der die Zellen die Ziegel und die fetthaltige Füllung zwischen den Zellen den Mörtel bilden. Sie dient zum Schutz der anderen Hautschichten.

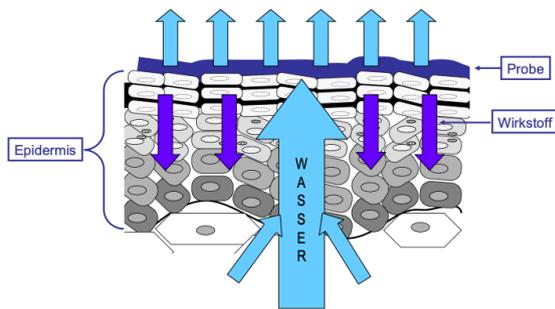


Aufbau der Epidermis

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie ein Wirkstoff in die Haut eindringen kann.

Wird der Wirkstoff in einer hydrophilen, also in einer wässrigen Probe gelöst und auf die Haut aufgetragen, so kommt der Dochteffekt ins Spiel: Wasser steigt von den unteren Hautschichten in die oberen auf, um in der Atmosphäre zu verdunsten – ein normaler Effekt. Dieser Verdunstungsvorgang wird durch die wässrige Lösung auf der Haut verstärkt, und somit steigt immer mehr Wasser auf. Dies hindert den Wirkstoff daran, in die tieferen Hautschichten einzudringen, weshalb er nur in den oberen bleibt. Auch zieht das emporsteigende Wasser den Wirkstoff mit sich.

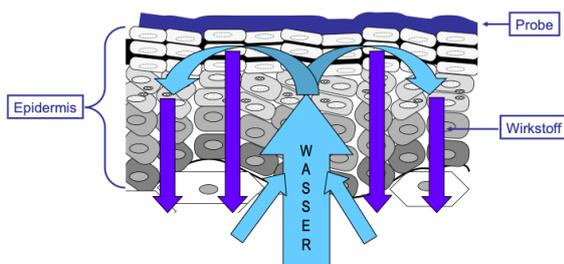
Haut-Dochteffekt



Dochteffekt hydrophiler Arzneiformen

Aber was passiert, wenn ein Wirkstoff in einer lipophilen, also in einer fettigen Probe gelöst wird? Dann tritt der Okklusionseffekt auf: Auch hier steigt wieder Wasser auf, um zu verdunsten, doch dieser Vorgang wird durch die fettige Probe verhindert. Aus diesem Grund muss das Wasser wieder in die unteren Hautschichten zirkulieren. Somit quillt die Haut auf und schafft Platz für den Wirkstoff, der nun in die tieferen Hautschichten eindringen kann. Zusätzlich nimmt das zurückfließende Wasser den Wirkstoff mit sich, sodass er noch tiefer in die Haut gelangen kann.

Haut-Okklusionseffekt



Okklusionseffekt lipophiler Arzneiformen

Festzuhalten ist, dass der Wirkstoff in einer wässrigen Probe in den oberen Hautschichten bleibt, während ein in Fett gelöster Wirkstoff tiefer liegende Hautschichten erreichen kann.

Fluoreszenzmikroskop

OSCAR VOETH

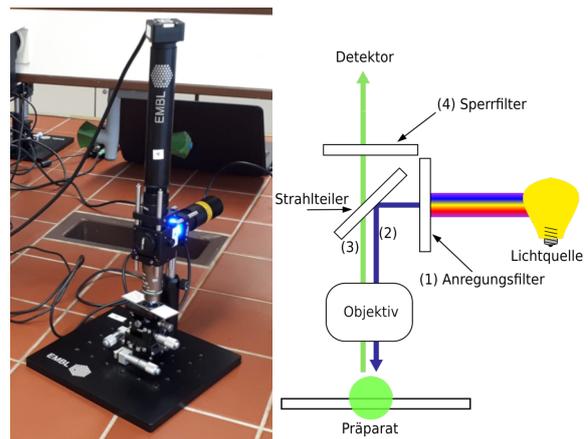
Diese Effekte wollten wir in einem folgenden Versuch untersuchen. Um das Eindringen un-

serer Stoffproben in die Haut nachzuweisen, nutzen wir dabei ein Fluoreszenzmikroskop.

Fluoreszenz beschreibt die Eigenschaft eines Stoffes, auf den Licht einer bestimmten Wellenlänge eintrifft, dieses in einer anderen Wellenlänge zurückzustrahlen.

Die Fluoreszenz der Kurkuma bei einer Wellenlänge von 427 nm konnte man mit dem Fluoreszenzmikroskop an einem Leuchten der Proben erkennen. Sie war bei unseren drei Lösungsmitteln mit Kurkuma unterschiedlich stark, was wir mit dem Fluoreszenzmikroskop nachweisen konnten.

Die Fluoreszenzmikroskopie ist eine Art der Lichtmikroskopie. Dabei wird mit der Objektivlinse und der Okularlinse das Licht auf eine bestimmte Art gebrochen, und somit kann man das Objekt vergrößert betrachten.



Fluoreszenzmikroskop und schematischer Aufbau¹

Ein Fluoreszenzmikroskop ist aus einer Lichtquelle aufgebaut, aus deren Licht von einem Anregungsfilter alle Wellenlängen bis auf den Fluorophor-Anregungsbereich herausgefiltert werden. Der Fluorophor-Anregungsbereich ist dabei derjenige Wellenlängenbereich, welcher die Fluoreszenz eines Stoffes anregt. Dieser Bereich von Wellenlängen wird über den Strahlteiler zum Objektträger gelenkt und dort vom fluoreszierenden Präparat zum Detektor geworfen. Wenn der zu untersuchende Stoff von der Wellenlänge angeregt wird, strahlt er Licht in einer anderen Wellenlänge ab. Die fluoreszieren-

¹Abbildung: Wikimedia (Krzysztof Blachnicki, Bearbeitungen Henry Mühlpfordt, Wikimedia-User Dietzel65 und Jana Brüßler, CC BY-SA 3.0)

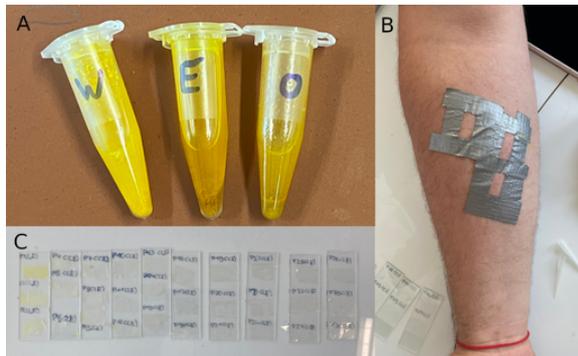
den Stoffe leuchten dabei nur, solange sie von der Lichtquelle angeregt werden. Stoffe fluoreszieren, weil die Elektronen des Stoffes, die sich beim Bestrahlen vom Atomkern entfernt und dabei Energie des Lichtes aufgenommen haben, sich diesem anschließend wieder nähern und die Energie nun wieder als Licht abgeben. Die Fluoreszenz erkennt man im Mikroskop am Leuchten einzelner Strukturen.

Absorptionsversuch

KLARA GABELE

Mithilfe des Fluoreszenzmikroskops konnten wir die Ergebnisse eines Versuches auswerten, den wir in der zweiten Akademiewoche durchführten:

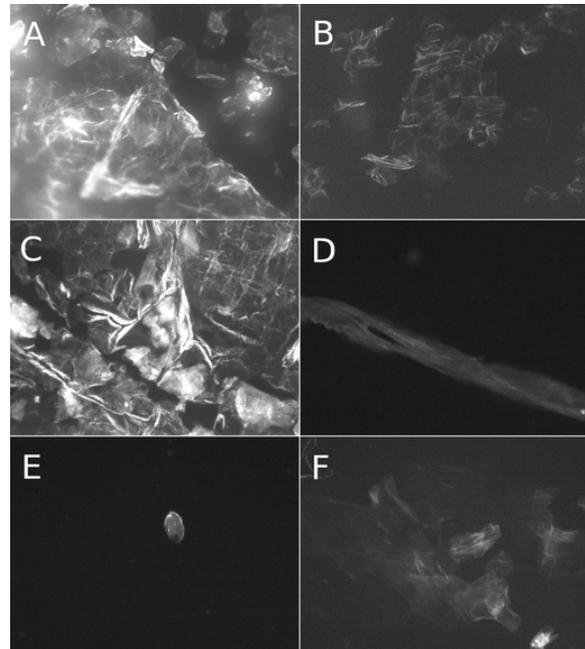
Mit diesem Versuch wollten wir die Aufnahme des Wirkstoffes durch eine Zellbarriere simulieren. Hierfür verwendeten wir die menschliche Haut. Unser Ziel war es festzustellen, wie tief die Kurkuma in die Haut beziehungsweise in die Zellbarriere eindringt. Dabei mischten wir die Kurkuma mit den drei verschiedenen Lösungsmitteln Wasser, Ethanol und Paraffinöl (Abb. Absorptionsversuche A).



Absorptionsversuche, A Kurkumalösungen, B abgeklebte Testflächen, C Objektträger mit Proben

Als erstes mussten wir den ProbandInnen, unseren KursleiterInnen Jana und Christian, drei Testflächen (jeweils 1 x 2 cm) auf ihrer Haut mit Panzertape abkleben (Abb. Absorptionsversuche B). Anschließend brachten wir an diesen Stellen unsere Kurkumalösungen auf. Auf eine Testfläche tropften wir in Wasser suspendierte Kurkuma (diese löst sich in Wasser nur sehr schlecht bis gar nicht), auf die zweite trugen wir

Kurkuma in Ethanol auf (sehr gute Löslichkeit) und auf der letzten Testfläche beobachteten wir die Kurkuma-Öl-Proben (mittelmäßige Löslichkeit).



Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen, A Wasser (oben), B Wasser (unten), C Ethanol (oben), D Ethanol (unten), E Öl (oben), F Öl (unten)

Nach einer Einwirkzeit von 15 min begannen wir damit, die oberste Hautschicht, das stratum corneum, mit 30 Tesafilmstreifen abzuziehen. Wir bereiteten die 30 Streifen vor und drückten sie jeweils fest auf die Haut, bevor wir sie mithilfe einer Pinzette möglichst schnell wieder abrissen. Da das stratum corneum aus abgestorbenen Hautzellen besteht, fügten wir unseren ProbandInnen mit diesem Versuch keinen größeren Schaden zu. Es blieben lediglich drei rote Rechtecke auf der Haut zurück – unsere Teststellen. Die Tesafilmstreifen klebten wir auf Objektträger (Abb. Absorptionsversuche C), welche wir nun unter dem Fluoreszenzmikroskop betrachteten. Dieses Mikroskop lieferte uns eine 200-fache Vergrößerung (10-fach durch das Okular und 20-fach durch das Objektiv). Bei unseren Tesafilmstreifen konnte man deutlich sowohl den Docht- als auch den Okklusionseffekt beobachten. Bei der Ethanolösung war die Kurkuma zwar sehr stark bei den ersten Tesafilmstreifen vorzufinden (Abb. Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen A), die

späteren wiesen dafür allerdings praktisch gar keine Kurkuma auf (B). Dasselbe Prinzip konnten wir auch bei den Wasserlösungen beobachten (C & D). Da Ethanol und Wasser beide hydrophil sind, greift hier der Dochteffekt.

Bei den Tesafilmstreifen mit Öl sah es jedoch ein bisschen anders aus. In den ersten Streifen sah man zwar etwas Kurkuma, doch lange nicht so viel wie bei Ethanol oder Wasser (E). Anders als bei den hydrophilen Formulierungen gelangte die Kurkuma in Verbindung mit dem Öl sehr viel tiefer in die Haut. In den letzten Streifen konnten wir noch immer Kurkumaresten finden (F) – dies lässt sich durch den Okklusionseffekt erklären.

Abschlusspräsentation

THEO HÖRSTER

Unsere Versuche waren nun abgeschlossen, und deshalb bereiteten wir uns darauf vor, diese anderen Interessierten zu präsentieren.

Am 7. September, dem letzten vollständigen Tag der Akademie, hielten wir, in vier Gruppen aufgeteilt, die Abschlusspräsentation. Dort stellten wir einige der vielen spannenden Themen, mit denen wir uns die zwei vergangenen Wochen beschäftigt hatten, vor. Darunter waren: das LADME-Modell, Arzneistoffe und Arzneiformen, der Aufbau des Magen-Darm-Trakts und der Haut, der Okklusions-, und der Dochteffekt, das UV-Vis-Spektrometer und unsere Versuche zur Liberation und zur Absorption sowie deren Ergebnisse.

Die Erarbeitung unserer Abschlusspräsentation nahm viel Zeit und Mühe in Anspruch: Zuerst mussten wir unter relativ großem Zeitdruck die Absorptionsversuche durchführen, denn unsere Liberationversuche hatten mehr Anläufe benötigt, als wir dachten. Währenddessen mussten wir die Abschlusspräsentation erstellen, passende Bilder suchen oder gegebenenfalls aufnehmen, Ergebnisse unserer Liberationversuche auswerten, Grafiken erstellen und ein stimmiges Layout finden. Die Qualität einer Präsentation wird aber vor allem durch die Präsentierenden beeinflusst, deshalb ertrugen wir die zwar konstruktive, aber dennoch ausführliche Kritik unserer KursleiterInnen und

unseres Schülermentors, um unsere Vortragsweise zu verbessern und so gut wie möglich auf die Abschlusspräsentation vorbereitet zu sein.

Bei unseren Abschlusspräsentationen zahlte sich die gute Vorbereitung dann aus: Sowohl thematisch als auch während der Vorstellung gelangen uns die Präsentationen sehr gut. Außerdem interessierten sich anscheinend viele TeilnehmerInnen, aber auch Außenstehende für unser Thema, denn unsere Präsentationen waren stets gut besucht. Insgesamt war es eine spannende Erfahrung, das Thema unseres Kurses leicht verständlich und spannend zu präsentieren, und sehr motivierend, dass wir so vielen Interessierten etwas näherbringen konnten, das uns selbst begeistert.



Auch im Labor war meist sehr gute Stimmung.

Schlusswort

ANNA BUCHHOLZ, THEO HÖRSTER,
SEBASTIAN LENZ, YUNZHENG LI,
AARON OSSWALD

Zwei Wochen lang hatten wir uns mit Pharmazie beschäftigt, der Wissenschaft, die sich auf breitem Gebiet damit befasst, mithilfe von Medikamenten Krankheiten zu behandeln. Unser Kursziel war es, das LADME-Modell, welches den Weg eines Arzneistoffes durch den Körper beschreibt, experimentell nachzubilden. Dafür haben wir auf Basis theoretischer Grundlagen verschiedene Versuche durchgeführt. Schon beim Eröffnungswochenende sind wir mit einem Versuch direkt in das Thema eingestiegen. Im Sommer ging es dann hauptsächlich ins Labor, wo wir uns mit komplexeren Versuchen beschäftigt haben.

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei allen bedanken, die uns diesen Kurs und die Akademie ermöglicht haben. Unser besonderer Dank gilt Herrn Dr. Wendt von der experimenta und dem EMBL für die Bereitstellung des UV-Vis-Spektrometers und der Fluoreszenzmikroskope.

Wir haben nicht nur jede Menge gelernt, in den zwei Wochen ist unsere Gruppe zu einer kleinen Familie zusammengewachsen. Ab dem ersten Tag wurde jede und jeder akzeptiert, über die Zeit haben wir unsere Stärken und Schwächen kennen- und damit auch lieben gelernt. Wir haben zusammen gelacht, sind zusammen verzweifelt und haben miteinander getanz.

Als die zwei Wochen vorbei waren, wollte niemand wieder nach Hause fahren. Wir lagen uns, den Tränen nahe, in den Armen und wollten uns bestenfalls nie mehr loslassen. Doch auch die schönste Zeit geht zu Ende, und so fuhren wir voller schöner Erinnerungen nach Hause.

Zitate

ALEX FREITAG

Nika: „Ich habe eine Kapsel geboren.“

Nika zu Oscar: „Die Tablette Oscarinus!“

Theo: „Wenn eure Kapseln Babys sind, habt ihr die höchste Kindersterblichkeitsrate.“

Jana: „Das Messer ist relativ stumpf, also ihr müsstet es euch schon in die Finger rammen.“

Christian: „Jana, hast du 'n Edding?“

Jana: „Ich kann mir höchstens den Finger abbeißen, und dann hast du ein bisschen Blut zum Schreiben.“

Christian auf der Wanderung: „Also wenn ihr noch was für euren geheimen Freund braucht, nehmt euch ein Holzscheit mit.“

Henriette: „Das ist Diebstahl!“

Christian: „Vielleicht bin ich ja ein Holzwurm, dann ist es nur Mundraub.“

Christian: „Die 150 ml hier haben in etwa so viel mit der Wahrheit zu tun wie: Oben steht noch eine Dose Schokokekse.“

Hannah: „ECHT JETZT?“

Noah: „Wir können die Küvetten ja schon mal hinrichten.“

Theo: „Meine Tablette heißt Chuck Norris.“

Alex: „Ich will ihm nicht die Augen rausrücken!“

Christian: „Ich war mal Janas Student. Der Beginn einer wunderbaren ... nennen wir es mal: Verbindung ... Hassliebe ... Panik, ich weiß es nicht.“

Jana: „Christian, hier sind die 15 Tabletten.“

Christian: „Die geh' ich mir jetzt reinziehen, danach kann ich fliiiieegen!“

Christian zu Jana: „'ne Nacht im Labor: Du ... ich ... 40 Proben ... komm schon!“ – Jana guckt kritisch

Theo: „Was nicht ist, kann ja noch werden.“

Alex: „Wo is' Jana?“

Christian: „Der haben sie die Haut abgezogen und in den Keller gebracht. Möchtest du auch mal deinem Kursleiter die Haut abziehen?“

Christian: „Nein, das ist kein Zitat, das ist auf die Blutlache bezogen!“

Jana: „Blut klebt so, is' total kacke!“

Jana: „Christian, warum wirfst du mit unseren Kursteilnehmern?“

Christian: „Jana, du bist ein sehr guter Marterpfahl.“

Christian: „Weiß jemand, aus was der Boden ist?“

Oscar: „Acetylsalicylsäure?“

Noah: „Wenn du Kopfschmerzen hast, leckst du einfach kurz am Boden, dann geht's dir wieder gut.“

Christian: „Nehmt jetzt bitte auch bunte Stifte, sonst fehlt euch das >MANA< in der Reaktion!“

Christian: „Was passiert mit den Menschen über die Zeit?“

Anna: „Die nutzen sich ab.“

Anna: „Sorry, jetzt schmeiß' ich auch noch mit Kursteilnehmern.“

Christian: „Raumspalte auf, Messergebnisse: >FLATSCH!<, Raumspalte zu.“

Nika: „Wie nennt man wissenschaftlich Ä, Ö, Ü?“

Noah: „Möchtegern-Vokale.“

Theo: „Thorben? Hoffentlich ist der nicht gestorben!“

Quellen

https://de.wikipedia.org/wiki/Tablette#Methoden_zur_Herstellung

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Kapseln>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

http://www.bdsoft.de/pharmazie/index.htm?/pharmazie/technologie/zusatzstoffe/handelsnamen/eudragit/eudragit_rl.htm

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

https://de.wikipedia.org/wiki/Magensaftresistente_Tablette#Eudragit_FS_30_D

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

https://faculty.epss.ucla.edu/~ttreude/wp-content/uploads/2019/04/Farkas_Bachelorarbeit.pdf

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://de.wikipedia.org/wiki/UV/VIS-Spektroskopie>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/126/standardabweichung>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://www.aspirin.de/wirkung>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

<https://www.kardiologie.org/fruehe-ass-prophylaxe-viel-effektiver-als-gedacht-/10220858>

(zuletzt abgerufen 22.10.2022 16:46)

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 19. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

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

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

Dieses Jahr konnte sich die Regierungspräsidentin Sylvia M. Felder bei ihrem Besuch der Science Academy von der Begeisterung der Teilnehmenden überzeugen. Sie wollte sich ein Bild dieser Form der Begabtenförderung machen. Bei ihrem Rundgang war sie von dem hohen Niveau der Kurse und dem außergewöhnlichen Engagement der gesamten Akademieleitung beeindruckt.



In Gesprächen erfuhr Frau Felder, wie nachhaltig diese Akademie wirkt. Es entstehen Freundschaften mit Gleichgesinnten, und gemeinsam werden weitere Herausforderungen bei Wettkämpfen oder anderen Akademien gesucht. Einige ehemalige Teilnehmerinnen und Teilnehmer kommen als Schülermentoren und Kursleiter gerne wieder nach Adelsheim. Frau Felder konnte bei ihrem Besuch die Freude und den Eifer der hochmotivierten Jugendlichen spüren und erahnen, dass hier alle vom „Akademiefieber“ angesteckt sind.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Koordinatorin der Deutschen Schüler- und JuniorAkademien Frau Ulrike Leithof, der Referentin für die Akademien Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Lange war nicht klar, in welchem Format die Akademie in den Zeiten der Pandemie stattfinden kann. Umso mehr hat es uns gefreut, dass wir uns dieses Jahr wieder in Präsenz in Adelsheim treffen

konnten. Dort waren wir 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 Klaißer sowie dem Abteilungsleiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

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

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

Bildnachweis

Seite 11, Abbildung Krebsnebel:

Hubblesite, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2005/37/1823-Image.html>
 NASA, ESA, J. Hester und A. Loll (Arizona State University)

Seite 12, Darstellung Schwarzes Loch:

NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia16695-black-holes-monsters-in-space-artists-concept>
 NASA/JPL-Caltech

Seite 13, Darstellung des Himmelsglobus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg
 Wikimedia User Cmglee, basierend auf einer Version von Ulrich Fuchs und Sverdrup
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 16, Abbildung GOCE-Satellit:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/08/The_satellite_on_the_edge_of_space

Seite 16, Bild der New Horizons-Sonde:

NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/new-horizons-spacecraft-in-the-clean-room-at-nasas-kennedy-space-center>

Seite 17, Darstellung des Anflugs von DART auf Dimorphos:

NASA, <https://www.nasa.gov/specials/pdco/images/mitigate.jpg>
 NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben

Seite 17, Rückkehrkapsel Spionagesatellit Zenit:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zenit_space_vehicle.jpg
 Maryanna Nesina
 CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>)

Seite 18, Darstellung von Weltraumschrott um unsere Erde:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2008/03/Weltraumschrott_in_der_erdnahen_Umlaufbahn_LEO_-_ueber_dem_Nordpol

Seite 18, Bild Einschlagskrater in Solarpanel:

ESA, https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/04/Hubble_solar_cell_impact_damage

Seite 19, Darstellung von ClearSpace 1:

ESA, https://www.esa.int/var/esa/storage/images/esa_multimedia/images/2020/11/clearspace-1_captures-vespa/22334324-1-eng-GB/ClearSpace-1_captures_Vespa_pillars.jpg

Seite 21, Diagramm Umlaufzeiten der Planeten:

Astrokramkiste, <https://astrokramkiste.de/planeten-geschwindigkeit>
 Zur Nutzung freigegeben

Seite 22, Abbildung Mineralienablagerungen auf der Oberfläche Europas:

NASA, <https://europa.nasa.gov/resources/29/europas-stunning-surface>
 NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

Seite 26, Schema zur Funktionsweise eines Flüssigtriebwerks:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified_diagram_of_RS-25_rocket_engine\(SSME\),_Jan_2021_.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Simplified_diagram_of_RS-25_rocket_engine(SSME),_Jan_2021_.png)
 Wikimedia-User Abcde1248163264, eigene Bearbeitung
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 29, Absorptionsspektrum:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectral-lines-absorption.svg>
 Wikimedia User Stkl
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 30, Schema Massenspektrometer:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wienscher_geschwindigkeitsfilter_massenspektroskopie.svg

- Wikimedia User Sgbeer
CC BY 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>)
- Seite 30, Abbildung Geophon:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geophone_SM-24.jpg
Wikimedia User Balajijagadesh
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 34, Hauptbestandteile unserer Nahrungsmittel:
Erstellt mit BioRender
- Seite 43, Aufbau der pflanzlichen Zelle:
Erstellt mit BioRender
- Seite 44, Aufbau der Geschmacksknospe:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1402_The_Tongue.jpg
Wikimedia-User OpenStax, Ausschnitt, bearbeitet
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 45, Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:
EMBL Science Education and Public Engagement Team
CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>)
- Seite 46, Human oesophagus (Darstellung der Speiseröhre):
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Human_oesophagus;_A.E._Schaffer_Wellcome_L0022090.jpg
A. E. Schaffer. Wellcome Collection, bearbeitet
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 49, Abbildung Darm:
Erstellt mit BioRender
- Seite 49, Dünndarmstoma:
Wikimedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ileostomy_2017-02-20_5349.jpg
Wikimedia-User Salicyna
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 53, Abbildung Leber:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Abbildung Emulsion:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Gallenblase:
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder_\(organ\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gallbladder_(organ).png)
Wikimedia-User BruceBlaus, bearbeitet
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 60, Die Nieren im Körper:
Erstellt mit BioRender
- Seite 54, Warming Stripes:
ShowYourStripes, <https://showyourstripes.info/s/globe>
Ed Hawkins, University of Reading
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)
- Seite 100, Schematischer Aufbau eines Fluoreszenzmikroskops:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluoreszenzmikroskopie_2017-03-08.svg
Krzysztof Blachnicki, Bearbeitungen Henry Mühlpfordt, Wikimedia-User Dietzel65
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)
- Seite 109, Trolley-Problem:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trolley_Problem.svg
Wikimedia-User McGeddon, Zapyon
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 111, Büste Sokrates:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Socrates_Louvre.jpg
Eric Gaba
CC BY-SA 2.5 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>)
- Seite 113, Büste Aristoteles:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_Altemps_Inv8575.jpg

Wikimedia-User Jastro, Ludovisi Collection
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 115, Büste Zenon:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo_Monti_-_Servizio_fotografico_\(Napoli,_1969\)_-_BEIC_6353768.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paolo_Monti_-_Servizio_fotografico_(Napoli,_1969)_-_BEIC_6353768.jpg)
 Paolo Monti
 CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 117, Portrait Augustinus:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saint_Augustine_Portrait.jpg
 Directmedia, The Yorck Project
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 118, Anselm von Catebury:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anselm_of_Canterbury.jpg
 Unbekannter Maler
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 120, Gemälde Kant:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg
 Gemälde von Johann Gottlieb Becker
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 122, Portrait-Photo Rawls:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Rawls_\(1971_photo_portrait\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:John_Rawls_(1971_photo_portrait).jpg)
 Aufnahme von Alec Rawls
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 124, Organspendeausweis:

BZgA, <https://www.bzga.de/presse/pressemitteilung/organspende>
 © Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), Köln

Seite 133, Opazität der Atmosphäre für elektromagnetische Strahlung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg
 Wikimedia-User Mysid/Ariser, Originalbild NASA
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 135, Abbildung der Fraunhoferlinien:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fraunhofer_lines_DE.svg
 Wikimedia-User Saperaud
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 139, Kennlinie einer Diode mit Bestimmung der Schwellspannung:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dioden-Kennlinie_1N4001_differentiell.svg
 Wikimedia-User Stündle
 Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 155, Start der Artemis-1-Mission:

NASA, <https://www.nasa.gov/image-feature/we-are-going-artemis-i-launches>
 NASA/Bill Ingalls

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>