

JuniorAkademie Adelsheim

18. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2021



Astronomie



Informatik



Mathematik



Medizin



Philosophie



Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2021**

**18. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim 2021:

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

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de
monika.jakob@scienceacademy.de
rico.lippold@scienceacademy.de

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

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter

Copyright © 2021 Jörg Richter, Dr. Monika Jakob

Vorwort

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

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

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

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

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

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

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



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

Eure/Ihre Akademieleitung

Ranran Ji (Assistenz)

Lorenz Löffler (Assistenz)

Dr. Monika Jakob

Jörg Richter



Inhaltsverzeichnis

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

Kurs 4 – Blut: ein ganz besonderer Saft



Unser Kurs

Anne war mit ihrer lustigen und sympathischen Art immer eine gute Gesprächspartnerin, die für jeden Spaß zu haben war. Sie war immer zu allen freundlich, und wir schlossen sie mit ihren pragmatischen Kommentaren sofort ins Herz. In der Musik-KüA konnte sie außerdem ihre musikalischen Fähigkeiten am Horn beweisen.

Celine wirkte anfangs eher bescheiden und ein bisschen schüchtern, aber ihr liebes Lächeln verzauberte uns sofort. Am Karaokeabend überraschte sie uns alle mit ihrem wahn sinnigen Talent für das Singen, aber auch fachlich überzeugte sie mit ihrer Kreativität.

David war immer ein Stimmungsgarant, und mit seiner sympathischen Art kam er überall gut an. Sein sportliches und musikalisches Engagement wurde uns vor allem in

der Präsenzzeit in Adelsheim bewusst. Die Motivation, mit der er uns Tag für Tag erstaunte, zeigte sich sowohl im Kurs als auch im Erstellen von Raptexten und Rappen von Eminem-Songs.

Eva fiel direkt durch ihre entspannte und offene Art auf. Im Kurs war sie für die gute Laune zuständig und immer am Lachen. Sie konnte zu jedem Thema einen guten Kommentar abgeben und arbeitete bei Gruppenaufgaben natürlich immer mit Jule zusammen.

Georg gehörte in vielerlei Hinsicht zu den ganz besonderen Teilnehmern der Akademie. So war er derjenige, der immer einen eloquenten Ausdruck für eine simple Sache fand. Darüber hinaus prägte er den Aufenthalt in Adelsheim mit seinem einzigartigen Humor und seinen schlagfertigen Antworten.

Greta personalisierte die Motivation in Person. Mit ihrer sehr korrekten und fachlichen Ausdrucksweise brachte sie uns gerne zum Schmunzeln. Sie trug den Kurs mit ihren interessanten Fragen, war aber auch in der freien Zeit eine äußerst sympathische beste Freundin für uns.

Jule war mit ihrer lockeren, aufgeschlossenen Art diejenige, die für viele Lacher und eine entspannte Atmosphäre während der ganzen Akademiezeit sorgte. Sie lief dauerhaft mit ihren Nikeletten herum und überzeugt mit großer Hilfsbereitschaft und Sympathie.

Julia stellte mit ihren interessanten Fragen und ihrer begeisterungsfähigen Art immer einen tragenden Teil des Kurses dar. Aber auch in der freien Zeit war sie als Ruhepol und lustige beste Freundin sehr beliebt.

Kürsad schaffte es durch seine immer gute Laune und seine ruhige und entspannte Natur, stets die Moral der Gruppe hochzuhalten, und war als Ruhepol wichtig für die Stimmung. Zudem fiel er mehrfach als Improvisations- und generelles Präsentationstalent auf, was ebenfalls an seiner offenen und zuvorkommenden Art liegen kann.

Paul kam in unseren Kurs mit einem enormen Vorwissen, und man hätte denken können, er wäre ein junger Arzt. Beim näheren Hinschauen handelt es sich auch noch um einen lebensfrohen und coolen Jungen, der alle mit seiner musikalischen Begleitung und seinem Eminem Rappen erstaunte. Im Kurs war er auch immer höchst motiviert dabei und war immer sehr hilfsbereit.

Wenzel war mit seinem Verbreiten von guter Laune, seinem Spaß am Singen und Tanzen immer ein Feuer an Energie und Lebensfreude. Vor allem am Karaokeabend hatte er Freude daran, dem ganzen Kurs einen Ohrwurm von „Bad Romance“ zu beschenken. Doch auch während der Kurse stellte er aufgrund seiner enormen Neugier interessante und tragende Fragen.

Anna war unsere Expertin für Biochemie und konnte uns alle Fragen mehr als ausführlich erklären. Nur dank ihrer Hilfsbereitschaft konnten wir die Zellatmung und weitere signifikante Themen in diesem Bereich ver-

stehen. Sie diente uns sogar als Probandin, sodass wir viele interessante Experimente durchführen konnten.

Jana überzeugte mit ihrer fachlichen Kompetenz und konnte uns auf erstaunliche Art und Weise die komplexesten Themen präzise erklären. Des Weiteren war sie als Teebar-Gründerin stets mit einer Teetasse anzutreffen und auch ihre tollen Backkünste konnten wir bewundern.

Johanna konnte als weitere Kursleiterin wie Jana mit ihrer fachlichen Kompetenz überzeugen und strahlte stets ein ansteckendes Lächeln aus. Ihre gute Laune und Hilfsbereitschaft stellten das Zentrum der „Unterrichtseinheiten“ dar.

Leo war immer sehr engagiert und bescherte uns viele wunderbare Fotos von der Kursarbeit. An seinem Umweltbewusstsein, das durch seine Fahrradkenntnisse ergänzt wurde, war leicht zu erkennen, wie sehr er dem Zeitgeist der heutigen Generation entspricht.

Vorwort

LEO NEFF

Jeder kennt es: Einmal beim Schnitzen nicht hingesehen und schon leuchten sowohl der Finger als auch der Stock knallrot vom Blut. Aber was ist das für ein Saft, der uns da aus dem Finger tropft? Und wieso ist er so tiefrot?

Sei es ein Sturz aufs Knie, eine herumliegende Glasscherbe oder der Schnitt in den Finger – die meisten Menschen sind nicht glücklich darüber, Blut zu sehen – ganz im Gegensatz zu den elf Teilnehmerinnen und Teilnehmern des diesjährigen Medizinkurses. Während unserer zwei intensiven Wochen mikroskopierten wir blutige Objektträger, maßen Blutsenkungsgeschwindigkeiten sowie den eigenen Puls und Blutdruck unter verschärften Akademiebedingungen. Und wir seziierten Schweineherzen, sehr zur Freude aller unserer motivierten und eifrigen Teilnehmerinnen und Teilnehmer.

Eine imaginäre Familie musste in einer Rahmenerzählung für jede der „behandelten“ Erkrankungen herhalten: An deren Krankenge-

schichte hangelten wir uns von Blutgerinnung über Diabetes bis hin zu den Zellen in unserem Blut und vielen weiteren Themen. Neben spannenden Theorieeinheiten und Gruppenarbeit in fröhlicher und entspannter Atmosphäre experimentierten wir in den ersten Tagen online und tauschten uns auch mit betroffenen Patientinnen und Patienten über ihren Alltag aus, den sie mit ihren Erkrankungen bewältigen.

Das letzte Drittel der Akademie dann direkt in Adelsheim zu erleben, war nochmal etwas ganz Besonderes: Wir konnten den außergewöhnlichen Saft namens Blut im „Real Life“ entdecken, uns auch als Gruppe in „3D“ intensiver kennenlernen und viel Spaß miteinander haben. Das hat uns alle nochmal stärker zusammengeschweißt und zu einer tollen Gemeinschaft werden lassen.

Und jetzt wünschen wir viel Spaß beim Eintauchen in unser ... Herzblut!

Das Herz

JULE REICHERT, EVA KAWERAU

Wie wird das Blut im ganzen Körper verteilt, sodass es zu jeder Zelle gelangen kann? Für diese Aufgabe ist unser Herz zuständig. Indem es pumpt, versorgt es uns mit Nährstoffen und Sauerstoff. Nur auf diese Weise können unsere Zellen arbeiten und unser Körper funktionieren.

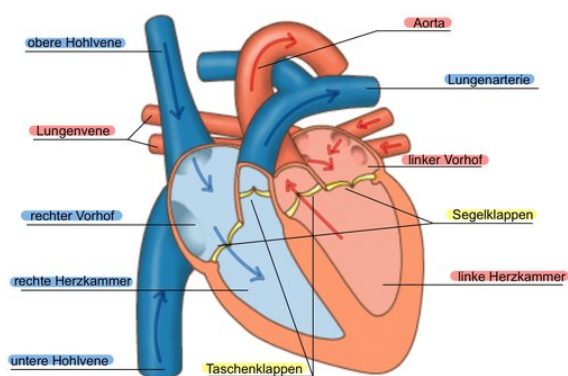


Abb. 1: Der Blutfluss durch das menschliche Herz¹

Das Blut wird über Blutbahnen durch den Körper geleitet. Als Arterien werden die Blutbahnen bezeichnet, die vom Herzen wegführen und

das sauerstoffreiche Blut (meist rot dargestellt) in jede einzelne Zelle transportieren. Im Gegenzug führen die Venen zum Herzen hin und transportieren sauerstoffarmes Blut (meist blau dargestellt) aus den Zellen zurück ins Herz. Die einzige Ausnahme hierfür sind die Lungenarterie, die sauerstoffarmes Blut in die Lunge befördert und die Lungenvene, die sauerstoffreiches Blut zurück zum Herzen transportiert.

Unser Herz ist ein großer Hohlmuskel, der in der Mitte unseres Brustkorbs leicht versetzt nach links sitzt. Es ist vom Perikard (Herzbeutel) umgeben. Dabei handelt es sich um Bindegewebe, das, ebenso wie kleine Fetteinlagerungen, als Schutzhülle dient. Aufgrund der ständigen Tätigkeit des Herzens verbraucht es viel Energie und wird mithilfe von umliegenden Blutgefäßen versorgt. Außerdem wird das Herz in eine linke und rechte Herzhälfte unterteilt, die von der Herzscheidewand getrennt werden. Diese Hälften sind wiederum jeweils in Atrium (Vorhof) und Ventrikel (Herzkammer) unterteilt. Zwischen Atrium und Ventrikel liegen Segelklappen, die den Blutrückfluss des Blutes verhindern, indem sie sich nur in eine Richtung öffnen können. Sie werden dabei von Papillarsehnen stabilisiert. Von den Kammern führt jeweils eine große Arterie vom Herzen fort. Arterien und Herzkammern werden ebenfalls von Klappen, den Taschenklappen, getrennt.

Blutfluss

Aber wie gelangt das Blut nun vom Herzen bis zu den Zellen?

Sauerstoffarmes Blut fließt durch die obere und untere Hohlvene in das rechte Atrium. Von dort gelangt es durch die Segelklappen in den rechten Ventrikel, von wo es durch das Zusammenziehen des Herzmuskels durch die Taschenklappen in die Lungenarterie und damit Richtung Lunge gepresst wird. In der Lunge, bzw. in den Lungenbläschen, findet der Gasaustausch statt und das sauerstoffarme Blut wird wieder mit Sauerstoff angereichert und kann das Abfallprodukt Kohlenstoffdioxid, das es aus den Körperzellen mitgebracht hat, abgeben. Anschließend wird das nun sauerstoffreiche Blut durch die Lungenvene zurück zum Herzen in

¹Abbildung: Wikimedia (gemeinfrei, bearbeitet)

das linke Atrium transportiert. Durch Segelklappen gelangt es nun in den linken Ventrikel und durch Taschenklappen in die Körperarterie, genannt Aorta. Diese ist die größte Arterie unseres Körpers. Das Blut kann von dort aus im gesamten Körper verteilt werden.

Sezieren eines Schweineherzens

Nach der theoretischen Einführung sezierten wir in Adelsheim ein Schweineherz und konnten so den Aufbau besser nachvollziehen. Dazu benötigten wir ein Skalpell und wie immer Handschuhe, Schutzbrille und Laborkittel.

Anfangs schauten wir uns das Herz von außen genau an und konnten die verschiedenen Strukturen gut erkennen. Wer hätte gedacht, dass auch unser Herz zwei Ohren besitzt? Dann begannen wir damit, das Herz seitlich mithilfe eines Skalpells aufzuschneiden, sodass wir den Aufbau von innen betrachten konnten. Dabei konnten wir die Papillarsehnen und die Segelklappen erkennen. Um den Blutfluss besser zu verstehen, fassten wir mit unseren Fingern durch die Arterien und Venen.

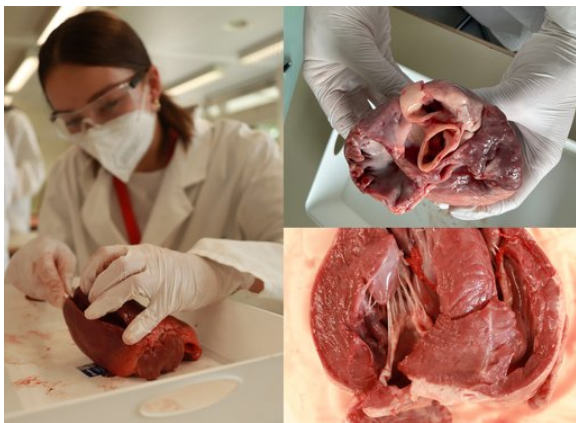


Abb. 2: Sezieren von Schweineherzen

Artificial Heart Design Challenge

Bei der „Artificial Heart Design Challenge“² handelte es sich um einen Prozess, bei dem wir

²Artificial Heart Design Challenge: The source of this material is the TeachEngineering digital library collection at www.TeachEngineering.org. All rights reserved.

https://www.teachengineering.org/activities/view/mis_heartbloodflow_act

ein Problem lösen sollten. Es ging um die Frage, wie man ein funktionierendes künstliches Herz entwickeln könnte. Dies geschah, indem wir verschiedene Schritte bearbeiteten.

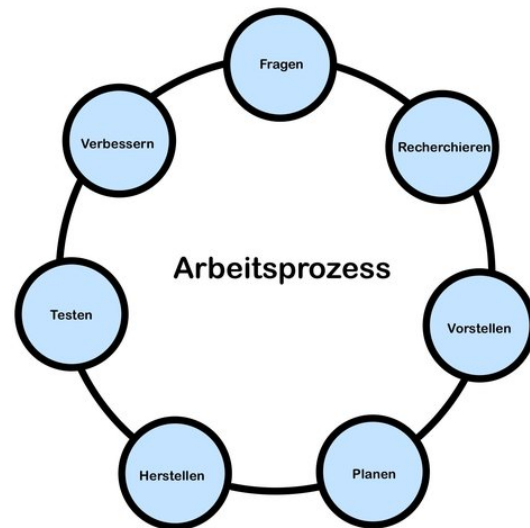


Abb. 3: Wie plane ich ein künstliches Herz?

Im ersten Schritt beschäftigten wir uns mit dem Grundproblem. Wir fragten uns, was so ein künstliches Herz leisten muss und welche Anforderungen wir an dieses haben.

Danach begannen wir mit der Recherche. Hierzu überlegten wir uns, wie der Herzaufbau aussieht und wie der Blutfluss funktioniert. Dazu erstellten wir ein Flow-Chart, welches den Weg des Blutes beschrieb. Anschließend fassten wir die technischen Anforderungen an das gesamte künstliche Herz zusammen.

Der nächste Schritt war „Vorstellen“. Hier nutzten wir Brainstorming, um Wege zu finden, wie man die zuvor festgelegten Anforderungen umsetzen könnte. Die dabei entstandenen zahlreichen Lösungsansätze wurden jeweils kurz beschrieben.

Die vierte Aufgabe war das Planen. Wir suchten uns den besten Lösungsansatz heraus und überlegten, welche Bauteile wir brauchen würden, um die Idee in der Realität umzusetzen.

Im fünften Schritt würden nach dem Schema die geplanten Ideen umgesetzt und getestet werden, um Probleme zu identifizieren. Diesen Schritt mussten wir leider überspringen und wir kamen somit direkt zum letzten Schritt: „Verbessern“. Hier versuchten wir, aus allen

Vorschlägen ein abschließendes Produkt zu entwickeln und alle Ideen und zuvor gewonnenen Erkenntnisse mit einzubringen und zu berücksichtigen.

Blutdruck und Puls

EVA KAWERAU

Die Aktivität des Herzens lässt sich auch von außen gut spüren und messen. Wir können den Herzschlag als Puls direkt fühlen und den Druck, mit dem unser Herz Blut durch die Arterien pumpt, mithilfe eines Blutdruckmessgerätes ermitteln.

Beim Herzschlag unterscheidet man zwischen zwei Zuständen, die sich auch in der Messung des Blutdrucks wieder finden lassen: Die Systole beschreibt den Zustand, wenn sich das Herz zusammenzieht und Blut durch den Körper gepumpt wird. Die Diastole zeigt unser Herz im entspannten Zustand, bei dem sich die Kammern erneut mit Blut füllen. Bei einer Blutdruckmessung wollen wir sowohl den systolischen als auch den diastolischen Wert herausfinden. Jedes Mal, wenn unser Herz Blut durch unsere Arterien pumpt, wird das Blut gegen die Arterienwände gedrückt. Dies können wir als Puls wahrnehmen, indem wir z. B. zwei Finger auf unser Handgelenk legen. Unser Puls gibt an, wie oft unser Herz pro Minute schlägt.

Der Puls kann durch körperliche Aktivität erhöht werden. Wenn wir uns beispielsweise sportlich betätigen, erhöht sich der Sauerstoffbedarf in unseren Zellen. Unsere Muskeln bilden durch Zellatmung CO_2 , das abtransportiert werden muss. Durch den erhöhten Energiebedarf und die Produktion von CO_2 wird ein schnellerer Transport benötigt, weshalb unser Herz schneller pumpt. Oft spüren wir nach dem Sport das schnelle Schlagen unseres Herzens sehr deutlich.

Im Alter, bei Übergewicht oder bei einem Mangel an Bewegung kann es vorkommen, dass der Blutdruck über einen längeren Zeitraum zu hohe Werte annimmt. Durch dauerhaften Bluthochdruck werden Organe – insbesondere unser Herz – beschädigt, da es dauerhaft

auf Höchstleistung arbeiten muss. Dies kann langfristig zu einer Herzinsuffizienz führen.

Versuch

Um verschiedene Parameter zu untersuchen, die einen Einfluss auf Blutdruck und Puls haben, führten wir während des Eröffnungswochenendes einige Versuche dazu durch. Dafür teilten wir uns in Gruppen mit jeweils drei Leuten auf und untersuchten unseren Puls und unseren Blutdruck unter verschiedenen Umständen mithilfe eines elektrischen Blutdruckmessgerätes.



Abb. 4: Blutdruckmessen mit Manschette und Stethoskop

Um einen Vergleichswert zu haben, begannen wir mit beiden Werten im Ruhezustand. Anschließend beobachteten wir, welche Auswirkung verschiedenste Sportübungen, wie z. B. Treppensteigen auf unseren Körper haben oder wie die Position des Arms während der Messung die Werte beeinflusst. Die Ergebnisse des Versuches waren:

Puls: Bei einer Änderung der Armposition erhöhte sich der Puls nur minimal. Sport und Treppensteigen dagegen führten zu einer deutlichen Erhöhung im Vergleich zum Ruhepuls.

Systole: Weder bei einer Veränderung der Position noch bei sportlicher Betätigung konnten wir mit unserer Messung einen nennenswerten Unterschied der Werte erkennen.

Diastole: Die Diastole reagierte in unserem Versuch sehr deutlich auf die kleinsten Veränderungen. Hier war der Druck bei gesenktem Arm höher als bei erhobenem Arm. Auch Sport erhöhte die Werte der Diastole leicht.

In unserer Zeit in Adelsheim maßen wir unseren Blutdruck außerdem mithilfe einer Blutdruckmanschette und eines Stethoskops. Den Ablauf kennt man vielleicht von einem Arzttermin. Dabei wird die Blutdruckmanschette um den Oberarm gelegt und aufgepumpt. Dadurch werden die Arterien zusammengedrückt und der Blutfluss wird gestoppt. Nach und nach wird der Druck in der Manschette abgelassen. Sobald das Blut fließt, entstehen kleine Verwirbelungen, die durch das Stethoskop als Geräusche (die sogenannten Korotkow-Geräusche) wahrgenommen werden können. Beginn und Ende des Auftretens dieser Geräusche markieren dabei den systolischen und den diastolischen Blutdruck.

Blutzellen und Mikroskopie

KÜRSAD KUMRU

Das Blut, welches in uns allen fließt, ist wohl eine der wichtigsten Flüssigkeiten unseres Körpers. Nachdem wir nun schon besprochen haben, wie das Blut im Körper verteilt wird, bleibt noch die Frage: Woraus besteht denn dieses „flüssige Organ“?

Das Blut lässt sich im Grunde in zwei Hauptbestandteile unterteilen: Das Blutplasma, welches rund 55 % ausmacht, und die Blutkörperchen mit einem Anteil von 45 %.

Nun stellt sich wohl die Frage, was das Blutplasma ist und woraus es besteht. Es setzt sich aus 91 % Wasser, 7 % Proteinen und 2 % anderen Stoffen zusammen. Die anderen Stoffe sind größtenteils Nährstoffe, Hormone und Mineralien. Das Blutplasma dient als Transportmedium unter anderem für Glucose und Hormone, zugleich erfüllt es aber auch die Funktion eines Speicherorts für Gerinnungsfaktoren, die

bei der Hämostase, also der Blutstillung, einen integralen Bestandteil bilden.

Blutzellen

Die Blutzellen sind äußerst ungleichmäßig aufgeteilt. Rund 98 % werden nämlich von den Erythrozyten (rote Blutkörperchen) gestellt, wohingegen die Leukozyten (weiße Blutkörperchen) und Thrombozyten (Blutplättchen) die übrigen 2 % einnehmen.

Die wichtigsten Zellen des Blutes sind also die Erythrozyten, Thrombozyten, Lymphozyten, Monozyten und Granulozyten, wobei die letzten drei unter die Oberkategorie der Leukozyten fallen und selbst noch einmal unterteilt werden könnten. Sie alle drei zeichnet aus, dass ihre Zuständigkeit in der Immunabwehr liegt. Wir haben diese Zellen unter dem Mikroskop beobachtet, von dem Zeitraum des Eröffnungswochenendes bis hin zum Beginn der Akademie viel über sie gelernt und Präsentationen gestaltet. Letztendlich konnten so alle durch die Vorträge der anderen Gruppen das Wichtigste in Kürze in Erfahrung bringen. Thematisiert wurde in diesen Vorträgen Allgemeines, Funktionen und Krankheiten.

Folglich stellt sich nun die Frage nach den Funktionen der obigen Blutbestandteile. Beginnen wir mit den Erythrozyten, die den bei weitem größten Anteil an den Blutzellen einnehmen. Sie sind für den überaus wichtigen und im ganzen Körper nötigen Sauerstofftransport zuständig. Um dieser Aufgabe nachgehen zu können, bestehen sie zu einem großen Teil aus dem sauerstoffbindenden Protein Hämoglobin, welches zugleich auch CO₂ binden kann.

Die kleinsten Blutzellen sind die Thrombozyten, welche für die Blutgerinnung verantwortlich sind. Sie übernehmen hierfür die Adhäsion (Anheftung) und Aggregation (Verklumpung), sodass Blutungen gestoppt und Wunden geschlossen werden können. Hierfür sind die „von-Willebrand-Faktoren“, an denen sie sich erst anheften müssen, von großer Relevanz. Ebenso braucht es die Gerinnungskaskade, um die Thrombozyten in den aktiven Zustand zu bringen, damit sie ihrer Aufgabe nachkommen können. Unter dem Begriff „Gerinnungskaskade“

versteht man einen schon fast umständlich wirkenden Vorgang, bei welchem letztendlich ein stabiles Aggregat aus Fibrin entsteht. Die an diesem Vorgang beteiligten Eiweiße heißen Gerinnungsfaktoren (mehr dazu im Kapitel Blutgerinnung).

Nun sind die ersten beiden Vertreter der Leukozyten, nämlich die B- und T-Lymphozyten an der Reihe. Sie beide bekämpfen körperfremde, potentiell schädliche Stoffe, also Pathogene. Hierzu gehören Viren, Bakterien oder Pilze, die allesamt dem Körper schaden können. Die beiden Lymphozyten unterscheiden sich jedoch auch. So sind die T-Lymphozyten zugleich auch Regulatoren, die einer zu heftigen Reaktion des Körpers entgegenwirken und mit der Aufgabe der Erkennung von Gewebeschäden beauftragt sind. Die B-Zellen hingegen können nach Infektionen Gedächtniszellen bilden, die sich die Antigene und passende Antikörper merken, so dass gegen eine erneute Infektion schneller vorgegangen werden kann.

Die Monozyten bzw. Makrophagen gehören zu den Phagozyten, also Fresszellen. Entsprechend gehen sie auch ihrer Tätigkeit der Immunabwehr nach: Sie „fressen“ Pathogene auf und zerstören diese.

Die Funktionen der Granulozyten, die in die Neutrophilen, Eosinophilen und Basophilen unterteilt werden, sind im Grunde dieselben: Identifikation und Zerstörung körperfremder Organismen. Untereinander unterscheiden sie sich maßgeblich in der Art dieser Organismen und in ihrer Farbe, die sie nach einer Färbung zum Mikroskopieren annehmen.

Mikroskopie

Somit gelangen wir auch zum nächsten Thema: dem Mikroskopieren!

Schon während der Onlineakademie hatten wir als Medizinkurs die verschiedenen Blutzellen mitsamt ihren Aufgaben kennengelernt und über eine Internetseite auch vor den Laptops, Blutzellen unter dem Mikroskop beobachten können. Mit diesem Vorwissen konnten wir die Zeit in Adelsheim perfekt für das praktische Arbeiten nutzen. Hier galt es – nach der obligatorischen Sicherheitsbelehrung –, zunächst



Abb. 5: Mikroskopie der Blutzellen

einmal die Objektträger, auf denen sich das abgeflammt und somit sterile Blut befand, einzufärben (Abb. 6). Der Vorgang des Färbens war notwendig, um die einzelnen Zellen besser erkennen und voneinander unterscheiden zu können. Hierfür wurde zum einen die May-Grünwald-Lösung und zum anderen die Giemsa-Färbung benutzt. Je nach Beschaffenheit und pH-Wert verschiedener Zellen und deren Bestandteile wurden die Komponenten des Blutes verschieden stark blau oder rot eingefärbt, was es uns ermöglichte, die Zellen deutlich besser zu erkennen.



Abb. 6: Färbung der Blutaussstriche

Als das Mikroskopieren dann begann, fiel zunächst die unglaublich gewaltige Menge der Erythrozyten auf (Abb. 7). Auch wenn wir ihren Anteil an den Blutzellen schon kannten, war dieser Anblick dann doch überraschend.

Die kleinsten der Blutzellen, die Thrombozyten (Blutplättchen), waren erst nach starkem

Vergrößern zu erkennen. Unter dem Lichtmikroskop in Adelsheim war es so gut wie unmöglich, überhaupt welche zu erkennen. Sie gingen in der überwältigenden Anzahl der Erythrozyten regelrecht unter.

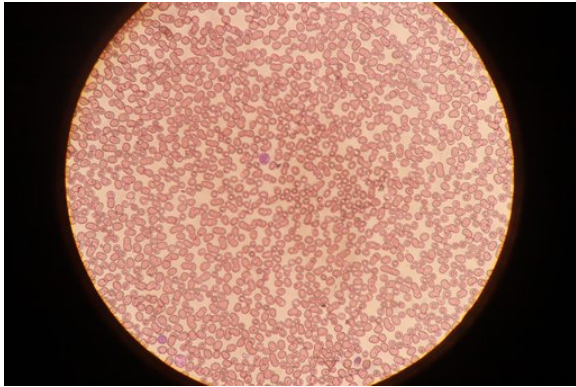


Abb. 7: Der Blutausschlag unter dem Lichtmikroskop

Bei der digitalen Mikroskopie waren auch noch Lymphozyten, Monozyten und Granulozyten zu erkennen, die man unter dem Mikroskop in Adelsheim allerdings etwas schwerer auseinanderhalten konnte.

Blutsenkung

ANNE TREIER

Eine kleine Menge an Tomatensaft, Olivenöl, Reisstärke und anderen Substanzen, und schon kann man die Blutsenkungsgeschwindigkeit (kurz auch BSG) perfekt zu Hause nachmodellieren (Abb. 8). Dies durften wir auch an unserem zweiten Akademietag online ausprobieren und haben dabei den Prozess der Trennung des Blutplasmas und der Blutzellen in Anbetracht verschiedener Krankheiten kennengelernt. Doch was ist die BSG genau und was kann sie über das Blut aussagen?

Wie schon erwähnt, kann man das Blut in zwei Bestandteile einteilen: die Blutzellen und das Blutplasma. Dabei wird die BSG unter anderem von den Blutzellen und vor allem ihrer Anzahl, Form und Gestalt beeinflusst, durch die sie sich unterschiedlich von dem Blutplasma absetzen, also nach unten sinken. Durch das Ablesen der Millimeter in einem Reagenzglas nach einer Stunde (mm/h) lässt sich feststellen, ob

dieser Vorgang verlangsamt oder zu schnell abläuft und somit beispielsweise eine Entzündung oder bösartige Erkrankung vorliegen könnte. Um jedoch das Prinzip dahinter verstehen zu können, muss man einen genaueren Blick auf die Erythrozyten werfen.

In gesundem Blut sind Erythrozyten leicht negativ geladen und haben eine bikonkave Form, um gut selbst durch die kleinsten Blutgefäße fließen zu können. Allerdings kann es vorkommen, dass diese Eigenschaften durch bestimmte Krankheiten nicht oder nur teilweise vorhanden sind, wie zum Beispiel bei Rheuma. Hierbei kommen die zwei Proteine Fibrinogen und Globulin verstärkt vor, welche wie ein Kleber wirken und demgemäß eine verstärkte Zusammenlagerung der Erythrozyten, auch unter dem Namen Erythrozytenaggregation bekannt, hervorrufen können. Die roten Blutkörperchen haben durch diese Verklumpung eine größere Masse und sinken somit schneller und besser. Dies hat zur Folge, dass die BSG erhöht ist.



Abb. 8: Blutsenkungsgeschwindigkeit im Heimlabor:

1. Blutmodell – Gesund
2. Blutmodell – Rheuma
3. Blutmodell – Leukozytose
4. Blutmodell – Sichel-Zell-Anämie

Einen gegensätzlichen Effekt können wir bei der Sichelzellenanämie beobachten. Dort haben die Erythrozyten nicht ihre klassische Form und können sich nicht mehr so gut zusammenlagern. Sie sind größer und leichter aufgrund einer sichelartigen Form und können daher nicht so schnell absinken wie ihre gesunden Pendanten,

was dementsprechend zu einer niedrigeren BSG führt. Ein weiterer Zustand, den wir nachmodelliert haben, war die Leukozytose, bei welcher die Anzahl der weißen Blutkörperchen erhöht ist. Dabei erhöhen sich die negativen Ladungen auf den Erythrozyten, was zu einer größeren Abstoßung führt und daher die BSG ebenfalls erniedrigt.

Grundsätzlich lässt sich aber sagen, dass die Untersuchung der Blutsenkung nicht zu einer genauen ursächlichen Diagnose führt, sondern in der Medizin mehr als Ausschlussverfahren oder Hinweis auf eine Krankheit genutzt wird und dementsprechend meist weitere zielführende Untersuchungen nach sich zieht.

Osmose

JULIA KEHRER

Osmose – was bedeutet das?

Osmose beschreibt den Ausgleich von Konzentrationen und ist eine Form der Diffusion (passiver Molekültransport durch Brownsche Molekularbewegung). Damit die Osmose eintritt, muss es eine selektiv permeable Membran geben, eine teildurchlässige Membran, die nur für bestimmte Stoffe, wie Wasser, aber nicht für andere Stoffe, wie Salz, durchlässig ist. Der Druck, der dabei aufgebaut wird, wird osmotischer Druck genannt. Veranschaulicht wird die Osmose in Abbildung 9.

In der rechten Hälfte befindet sich eine Lösung mit weniger Salz, in der linken Seite eine mit höherer Salzkonzentration. Die Teilchen bestreben nun den Ausgleich der Konzentration, jedoch kann nur Wasser durch die Membran hindurch gelangen. Das Wasser fließt nun vom Ort mit der niedrigeren Konzentration in Richtung des Ortes mit der höheren Konzentration, bis der Konzentrationsausgleich vorliegt. Dabei steigt der Wasserstand im linken Teil des Rohres an. Der Druck, der dabei gegenüber dem rechten Teil des Rohres entsteht, wird osmotischer Druck genannt und ist für Zellen in unserem Körper besonders wichtig.

Hierzu führten wir einen Versuch durch: Blut wurde jeweils mit einer 10 %-igen Salzlösung, mit einer 0,9 %-igen Salzlösung und mit de-

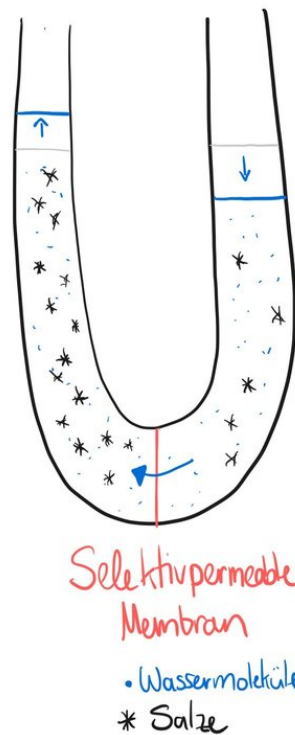


Abb. 9: Osmose durch eine selektiv permeable Membran

stilliertem Wasser verdünnt. Bei der 10 %-igen Lösung (hypertone Lösung, zu hohe Salzkonzentration) kommt es zum Schrumpfen der Zellen, da Wasser austritt. Bei 0,9 % Salz hat die Lösung den gleichen osmotischen Druck wie unsere Zellen (isoton) und die Zellen verändern sich nicht. Das destillierte Wasser ist hypoton (zu niedrige Salzkonzentration), hier dringt Wasser in die Zellen ein und es kommt zum Anschwellen und Platzen dieser. In Abbildung 10 erkennt man, dass das Blut mit der 10 %-igen Salzlösung durch die geschrumpften Zellen trüb und hell erscheint. Zwischen der 0,9 %-igen Salzlösung und dem destillierten Wasser ist nur ein leichter Farbunterschied des Blutes zu erkennen.

Zellatmung

ANNE TREIER

Wir kennen das alle: Wenn wir nicht essen, werden wir schlapp und müde, da unser Körper nicht mehr genügend Energie hat. Doch woher nimmt er diese Energie? In unserer Nahrung be-

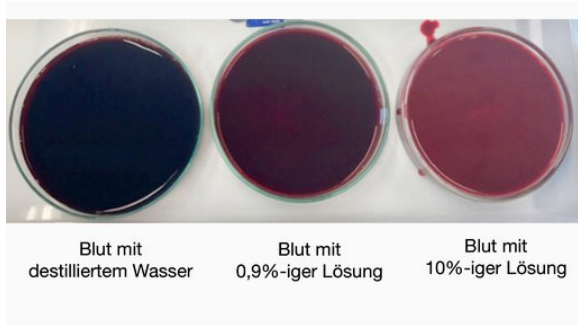


Abb. 10: Blut im Osmose-Versuch

finden sich unter anderem Kohlenhydrate und Zucker, die während der Verdauung schließlich in ihre kleinste Form, Glucose, zerteilt werden. Diese Glucose wandert mit dem Blut in die Zellen, wo zusammen mit dem eingeatmeten Sauerstoff ein wichtiger biochemischer Prozess stattfindet, aus dem wir Energie gewinnen und speichern können: die Zellatmung.

Sauerstoff und Glucose werden zu Kohlenstoffdioxid und Wasser umgewandelt, während Energie in Form von ATP (ein Energieträger namens Adenosintriphosphat) frei wird. Im Kurs hatte jeder schon einmal etwas von der Formel der Zellatmung aus dem Bio-Unterricht gehört, jedoch kannten wir nicht so genau den biochemischen Prozess, der sich dahinter verbirgt.

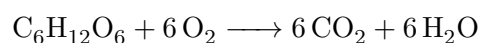
Durch das Protein Hämoglobin gelangt der Sauerstoff über die Kapillaren in unsere Zellen, damit in den Mitochondrien, den Kraftwerken der Zelle, die Zellatmung stattfinden kann. Hämoglobin besteht aus vier Globin-Untereinheiten mit jeweils einem Eisenion, das in der Lage ist, ein Sauerstoffmolekül zu binden und wieder abzugeben. Zusätzlich gelangt Glucose aus der Nahrung durch das Blut in die Mitochondrien, worauf der chemische Prozess für die Herstellung von ATP folgt.

Zuerst wird Glucose bei der Glykolyse in zwei Pyruvat-Moleküle gespalten, wobei zwei ATP und zwei $\text{NADH} + \text{H}^+$, die sogenannten Elektronencarrier, entstehen. Dass Pyruvat in die Mitochondrien transportiert wird und dies wiederum andere chemische Prozesse auslöst, ist wichtig für den Citronensäurezyklus, der wie eine konstante Drehscheibe in den Mitochondrien funktioniert. Dabei werden zwei CO_2 -Moleküle, ein ATP, ein FADH_2 und drei $\text{NADH} + \text{H}^+$ frei und somit weitere Elektronencarrier und CO_2 ,

welches man in der Reaktionsgleichung der Zellatmung wiederfinden kann.

In der inneren Zellmembran der Mitochondrien befinden sich Proteine, die Elektronen, die die Elektronencarrier loswerden wollen, aufnehmen und weiterleiten können. Die negativen Ladungen werden von einem zum nächsten Protein weitergegeben und dadurch, dass $\text{NADH} + \text{H}^+$ seine zwei Elektronen nun abgibt, werden H^+ (Protonen) frei. Diese Protonen werden über die gleichen Proteine in den Membranzwischenraum transportiert. Da sich jetzt mehr positiv geladene Wasserstoffionen außen an der Membran befinden, baut sich ein osmotischer Druck auf – analog zu einem Pumpspeicherkraftwerk, bei dem Wasser auf einen hohen Berg gepumpt wird und somit Potential zur Energiegewinnung bringt. So haben auch die Wasserstoffionen das Bestreben, wieder in das Mitochondrieninnere zurück zu kehren, und sie gelangen dorthin durch die ATP-Synthase. Die dabei entstehende Durchflussenergie wird genutzt, um 28 ATP zu bilden. Zusammen mit Sauerstoff, zwei Wasserstoffprotonen und den Elektronen entsteht zu guter Letzt H_2O , also Wasser, was man in der Reaktionsgleichung ebenfalls ablesen kann.

Insgesamt wird bei dem Prozess der Zellatmung ein Glucosebaustein zu 30–32 ATP umgewandelt, wodurch die Zellen ihre Energie erhalten. So sieht die Reaktionsgleichung aus, bei der 32 ATP frei werden:



Zu dieser Theorieeinheit haben wir auch noch ein Experiment durchgeführt. Dabei pusteten wir mit einem Röhrchen in Rotkohl-Saft hinein. In unserer Atemluft befindet sich viel Kohlenstoffdioxid, weshalb mit dem Wasser zusammen Kohlensäure entsteht, welche den pH-Wert im Saft erniedrigt, ihn also saurer macht. Durch diesen veränderten Wert wird der Saft hellrot. Wir führten dieses Experiment nun nochmals durch, nachdem ein paar sehr Motivierte von uns Sport gemacht hatten, und konnten feststellen, dass diese Farbveränderung dann bereits nach weniger Atemzügen stattfand. Somit konnten wir die Zellatmung und den Anstieg des Kohlenstoffdioxids beim Sport sichtbar machen.



Abb. 11: Zellatmung im Eigenversuch

Blutgerinnung

GRETA KLAUSER

Die Blutgerinnung, auch Hämostase genannt, bezeichnet den Prozess der Wundschließung, bei welcher die kleinen Thrombozyten eine ganz besondere Rolle spielen.

Das Blut fließt normalerweise durch röhrenartige Gefäße, die aus verschiedenen Schichten bestehen. In einem unverletzten Blutgefäß schwimmen die Erythrozyten und Leukozyten in der Mitte des Blutstroms und die Thrombozyten an der Wand des Blutgefäßes, dem Endothel, entlang. Ist letzteres durchtrennt, kommen die Blutplättchen mit den darunter liegenden glatten Muskelzellen in Kontakt, die Kollagen beherbergen. Darauf befindet sich der Von-Willebrand-Faktor, an welchen sich die Thrombozyten bei Berührung anheften. Der folgende Prozess wird als Thrombozytenaktivierung bezeichnet und umfasst ...

1. ... die Ausschüttung von Botenstoffen zur Aktivierung weiterer Thrombozyten und

Abwehrzellen, zur Gefäßkontraktion und für verstärktes Zellwachstum an der Wunde.

2. ... die Transformation der Thrombozyten von scheibenförmig zu kugelig mit langen Fortsätzen (Pseudopodien), sodass sich ihre Oberfläche deutlich vergrößert.
3. ... die Aggregation, also das Zusammenheften, der Thrombozyten mittels Pseudopodien am Kollagen und untereinander.

Anschließend verbindet das sogenannte Fibrinogen die Thrombozyten nochmals miteinander und es entsteht ein einigermaßen stabiler weißer Thrombus, durch den das weitere Austreten von Blut gestoppt wird. Dieser Schritt nennt sich Blutstillung / primäre Hämostase und dauert ca. zwei bis vier Minuten.

Und noch andere Stoffe werden bei einer Verletzung frei: die Gewebefaktoren, welche mit den Faktoren aus dem Blut reagieren und so eine komplizierte Gerinnungskaskade anstoßen. Von diesen Faktoren gibt es die Nummern I bis XIII (VI entspricht dem aktivierten Faktor V), und sie sitzen oder schwimmen im Körper, bis sie einer nach dem anderen aktiviert werden.

Diese Kaskade erscheint auf den ersten Blick sehr komplex, ist aber wichtig, damit die Blutgerinnung in unserem Körper nur dann stattfindet, wenn sie auch benötigt wird. Am Ende der Kaskade entstehen aus Fibrinogen lange Fibrinketten, die nicht nur den weißen Thrombus stärken, sondern auch rote Blutkörperchen anheften lassen, wodurch der finale rote Thrombus entsteht. Dieser bleibt, solange die Wunde heilt. Körpereigene Gerinnungshemmer in unserem Blut sorgen währenddessen dafür, dass eine überschießende Gerinnung verhindert wird.

Ist die Wunde dann schließlich geheilt, wird das Plasminogen in Form von Plasmin aktiv und frisst die Fibrinfäden auf, sodass sich der Thrombus auflöst und die Hämostase damit erfolgreich abgeschlossen wird.

Hämophilie

GRETA KLAUSER

Eine Krankheit, bei der es in diesem System Probleme gibt, ist die Hämophilie. Sie ist eine erbliche Krankheit, bei der die Blutgerinnung

im Körper gestört ist. Diese meist bei Männern vorkommende Krankheit wird ausgelöst durch einen Fehler unserer Erbinformation auf dem X-Chromosom, weshalb den Betroffenen ein Gerinnungsfaktor fehlt oder dieser schlechter funktioniert. Dadurch ist die komplexe Gerinnungskaskade gestört und führt nur bedingt oder gar nicht zur Fibrinbildung, die für die Gerinnung aber von großer Bedeutung ist. Dabei unterscheidet man drei Varianten der Hämophilie:

Typ A: Mangel an Faktor VIII, häufigste Form

Typ B: Mangel an Faktor IX

Typ C: Mangel an Faktor XI, äußerst selten

Diese Krankheit ist auch bei der häufigsten Form noch recht selten und kann in einer weiblichen Erbfolge zunächst unentdeckt bleiben, weshalb es wichtig ist, die Symptome der Betroffenen zu erkennen. Zuerst einmal fällt auf, dass Hämophilie-Erkrankte anfälliger für Blutungen sind und diese dann auch unnatürlich lange anhalten. Bei einem schwereren Verlauf kann es auch zu ganz grundlosen Blutungen kommen, manchmal sogar im Inneren des Körpers, was für den Betroffenen sehr schmerzhaft werden kann. Besonders typisch und nicht weniger schädlich sind Gelenkblutungen, die bei Belastung recht schnell auftreten können. Hierbei fließt Blut in den Gelenkspalt, was kurzfristig für Schmerzen und beispielsweise Gehprobleme sorgt und bei Wiederholung auch den Knorpel angreift und porös werden lässt.

Hämophilie-Erkrankte, früher auch Bluter genannt, sollten daher über solche Probleme aufgeklärt werden und müssen dann ein Gespür dafür entwickeln, was sie machen können und was zu risikoreich für den Körper ist. Tatsächlich gibt es heutzutage aber auch eine Behandlungsmöglichkeit für Typ A, die Blutungen zwar nicht ganz ausschließt, aber deutlich minimiert und den Betroffenen ein recht normales Leben ermöglicht. Dabei werden dem Körper alle zwei bis vier Tage spezielle Medikamente gespritzt, die die Aufgabe des Faktors VIII übernehmen.

In unserer Online-Zeit konnten wir mit einem echten Typ A-Patienten sprechen und er meinte, dass er mit dem speziellen Medikament therapiert werde, dennoch aber sehr wachsam sei, da er besonders mit Gelenkblutungen im-

mer wieder Probleme habe. Auch bei ihm hat die Krankheit Generationen übersprungen und kam daher recht unerwartet. Er meinte, manchmal schränke es ihn natürlich schon ein, aber alles in allem habe er sich doch ganz gut mit seiner Krankheit Hämophilie arrangiert.

Blutgruppen

PAUL STEIDLE

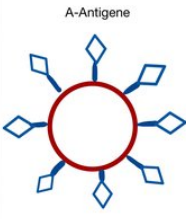
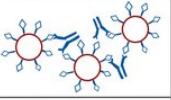
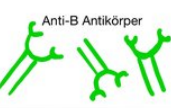
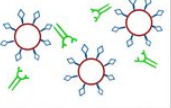
Erythrozyten spielen fast überall eine große Rolle, so auch bei den Blutgruppen. Denn eine Blutgruppe beschreibt die individuelle Zusammensetzung der Oberfläche der Erythrozyten von Wirbeltieren innerhalb eines Blutgruppensystems. Blutgruppen spielen eine ungemein wichtige Rolle bei der Transfusionsmedizin, z. B. auch bei Blutspenden. Wird ein ungeeignetes Blut transfundiert, kann es zur Verklumpung kommen und im schlimmsten Fall auch zum Tod des Patienten.

Blutgruppen werden genetisch vererbt und sind praktisch, um Verwandtschaftsverhältnisse bestimmen zu können. Insgesamt gibt es zurzeit 36 Blutgruppensysteme und es werden Tag für Tag immer mehr davon erforscht. Jedoch ist das AB0-System das bekannteste, da man beschloss, dieses System 1928 in der ganzen Welt einheitlich zu nutzen. Es wurde im Jahr 1900 von dem Wiener Arzt Karl Landsteiner beschrieben und umfasst die Blutgruppen A, B, AB und 0. Dafür erhielt Karl Landsteiner 1930 den Nobelpreis für Medizin.

Zur Bestimmung der AB0-Gruppe schauen wir uns die Antigen-Zusammensetzung auf den Erythrozyten an. Eine Blutgruppe kann jeweils entweder nur A-Antigene, nur B-Antigene, A- und B-Antigene oder gar keine Antigene auf der Oberfläche der Erythrozyten haben. Der Körper bildet gegen alles, was er nicht besitzt Antikörper. Dies sind körpereigene Abwehrstoffe, die so aufgebaut sind, dass sie körperfremde Stoffe erkennen und abwehren können, aber in der Regel nicht mit den eigenen Antigenen verklumpen.

Daraus folgt, dass die Blutgruppe A B-Antikörper besitzt, die Blutgruppe B A-Antikörper, die Blutgruppe AB keine dieser Antikörper und

die Blutgruppe 0 A- und B-Antikörper. Durch diese grundsätzliche Aufteilung kommt es nie zu einer Verklumpung. Wird bei einer Transfusion aber das falsche Blut transfundiert, kann es jedoch dazu kommen. Die Antikörper gegen nicht kompatibles Fremdblut werden beim Menschen noch während des ersten Lebensjahres gebildet.

Erythrozyt mit Antigenen	Zugabe von Antikörpern	Verklumpungsreaktion
		
		

Mit diesem Vorwissen kann man sich nun auch die Blutgruppenverträglichkeit herleiten. Um die nächsten Schritte ein wenig zu vereinfachen, gehen wir hierbei von der Spende eines Erythrozyten-Konzentrats aus. Dabei werden bei der Bluttransfusion nur die zellulären Bestandteile und keine Antikörper übertragen.

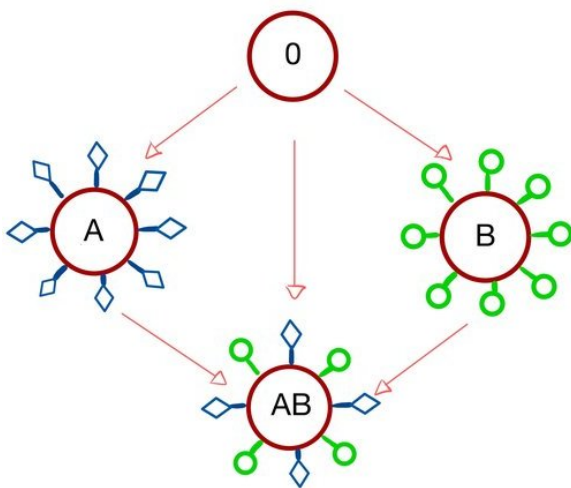


Abb. 12: Blutgruppenverträglichkeiten bei Transfusion von Erythrozytenkonzentraten

Auf Abbildung 12 fällt auf, dass die Blutgruppe 0 der Universalspender ist und somit jeder anderen Blutgruppe Blut spenden kann, dabei aber nur von der eigenen Blutgruppe Blut empfangen kann. Die Blutgruppen A und B können jeweils nur der Blutgruppe AB und ihrer eigenen Blutgruppe Blut spenden. Sie können

dabei von ihrer eigenen Blutgruppe und der Blutgruppe 0 Blut gespendet bekommen. Die Blutgruppe AB kann jedoch nur der eigenen Blutgruppe Blut spenden und ist gleichzeitig Universalempfänger.

Der Rhesus-Faktor, der ein weiteres Blutgruppensystem bildet und häufig zusammen mit dem AB0-System genannt wird, spielt bei der Transfusionsmedizin ebenfalls eine große Rolle. Der Name Rhesusfaktor kommt von den Versuchen mit Rhesusaffen, bei denen man im Jahr 1937 diesen Faktor zum ersten Mal entdeckt hat. Es gibt einige verschiedene Faktoren, die das AB0-System ergänzen können, jedoch ist vor allem der Rhesusfaktor D unter diesen medizinisch relevant.

Der Rhesusfaktor wird dominant vererbt, ca. 85 % der Bevölkerung in Deutschland sind Rhesus-positiv, 15 % Rhesus-negativ. Rhesus-positive Menschen tragen auf ihrer Erythrozyten-Oberfläche ein weiteres Antigen, das „D-Antigen“. Rhesus-negative Menschen besitzen dieses „D-Antigen“ nicht.

Die Antikörper gegen den Rhesusfaktor D werden bei Menschen ohne diesen Faktor vermehrt gebildet, wenn sie mit ihm in Berührung kommen, z. B. bei einer Geburt, wenn die Mutter Rhesus-negativ ist und das Kind aber Rhesus-positiv. Dabei könnte Blut des Kindes in den Blutkreislauf der Mutter gelangen, die den entsprechenden Antikörper dagegen bildet und die fremden Erythrozyten bekämpft. Diese Antikörper schwimmen dann im Blut der Mutter und können bei einer weiteren Geburt eines Rhesus-positiven Kindes für Probleme sorgen. Denn wenn das Mutterblut in den Kreislauf des Kindes gelangt, kommen auch die Anti-D-Antikörper in das kindliche Blut. Diese würden dann anfangen die Blutzellen des Kindes anzugreifen, da diese ja das D-Antigen auf der Oberfläche besitzen.

Um das zu verhindern, sollte man einer Rhesus-negativen Mutter kurz vor der Geburt eines Rhesus-positiven Kindes die D-Antikörper künstlich spritzen, sodass diese die Abwehr übernehmen und der Körper keine eigenen Antikörper und Gedächtniszellen bildet, denn diese würden im Vergleich zu den gespritzten, nicht einfach wieder abgebaut werden, sondern im

Blut bleiben und dem nächsten Kind möglicherweise Schaden zufügen.

Durch den Rhesusfaktor kommt man hier zu einem weiteren Faktor bei der Gruppenverträglichkeit. Zum Beispiel kann die Blutgruppe 0– nur von derselben Blutgruppe Blut annehmen, nicht von der Blutgruppe 0+. Der Universalspender in Bezug auf den Rhesusfaktor ist somit die Blutgruppe 0–.

Doch wie kann man sich diese Erkenntnisse zunutze machen? – In Adelsheim konnten wir sogar einen „Mörder“ mithilfe der Zusammensetzung des Blutes der einzelnen Blutgruppen überführen. Hierbei handelte es sich selbstverständlich nicht um Humanblut. Wir konnten die „Blutüberreste“ des Täters an den Jeans des Opfers entnehmen und mithilfe der unterschiedlichen Antikörper (z. B. Anti-A), die Blutgruppe nachweisen. Da das Blut nur mit dem Anti-A-Serum verklumpte, wussten wir, dass es sich hierbei um die Blutgruppe A handelt. Die Blutgruppe des Täters konnten wir dann mit den Blutgruppen der Verdächtigen vergleichen und konnten so den Mörder schließlich „stoppen“.

Doch wodurch wird bestimmt, ob eine Person den oben angesprochenen Rhesusfaktor auf den Erythrozyten trägt oder nicht? Im folgenden Text wird dies im Rahmen der Vererbungslehre genauer erklärt.



Abb. 13: Dem Täter auf den Fersen

Vererbung

WENZEL LEPSCHY

Um das Prinzip der Vererbung zu verstehen, müssen wir uns zunächst folgendes Vorwissen

aneignen: Die Erbinformation eines jeden Menschen ist immer zweifach in Chromosomen vorhanden (einmal von der Mutter und einmal vom Vater). Auf den Chromosomen gibt es lokal Allele, die eine bestimmte Genvariante darstellen. Das Allel des Vaters und das der Mutter legen zusammen den Genotyp fest. Jedoch kann es vorkommen, dass die Erbinformation der Mutter und die des Vaters nicht übereinstimmen, das heißt: Der Genotyp ist mischerbig (Abb. 14). Falls beide Allele für eine bestimmte Erbinformation denselben Bauplan vorgeben, ist der Genotyp reinerbig.

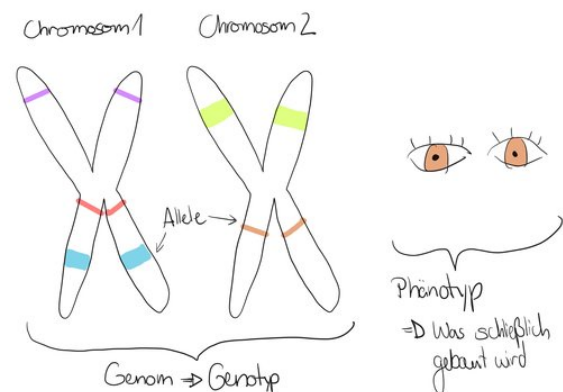


Abb. 14: Beispiel für einen mischerbigen Genotyp

Beispielsweise kann es sein, dass die DNA im Allel des Vaters vorgibt, dass die Augen des Kindes braun werden, die der Mutter aber geben die grüne Augenfarbe vor. Was passiert dann? An dieser Stelle sprechen wir vom Phänotyp. Dieser bezeichnet das Endprodukt, oder vielmehr, was nun aus der Erbinformation wirklich gebaut wird.

Da nun die Augenfarbe des Kindes nicht einmal grün und einmal braun sein kann, muss es heißen, dass sich ein Allel gegenüber dem anderen im Phänotyp (dem Endprodukt) durchsetzt. Dieses Allel ist das dominante. Das andere, welches unterdrückt wird, bezeichnet man als rezessiv. Wenn also ein Allel im Genotyp dominant ist, richtet sich der Phänotyp direkt nach der Erbinformation des dominanten Allels. Letzteres wird in Vererbungstabellen gezeigt, die die möglichen Phänotypen anhand des Genotyps zeigen. Nun wird die Vererbungstabelle zu dem vorherigen Beispiel mit den Augenfarben dargestellt.

Phänotyp (=Endprodukt)	B (braun) dominant	g (grün) rezessiv
mögliche Genotypen (mögliche Genkombinationen)	BB, Bg, gB	gg

Das folgende Beispiel handelt vom Rhesussystem, das im vorherigen Abschnitt der Blutgruppen angesprochen wurde. Das Allel mit der Erbinformation, die das D-Antigen weitergibt, ist dominant (D) gegenüber jenem, welches es nicht weitergibt (d). Das heißt, dass weder das Allel des Mannes, das weitervererbt wird, noch das der Frau das Rhesusantigen weitergeben dürfen, damit das Kind Rhesus-negativ wird. Wenn jedoch auch nur ein Allel D ist und somit das D-Antigen kodiert, wird das Kind durch dessen Dominanz Rhesus-positiv. Das ist auch der Grund, wieso viel mehr Menschen Rhesus-positiv sind, da die Wahrscheinlichkeit, dass beide Allele im Genotyp d sind, viel geringer ist.

Phänotyp	Rh+	Rh-
mögliche Genotypen	DD, Dd, dD	dd

Detektivspiel

GEORG SCHINK

Detektivarbeit

Aufgrund des Phänomens der Verklumpung einzelner Blutgruppen mit bestimmten Blutseren und Antikörpern (siehe Abschnitt zu den Blutgruppen) kann man Blutgruppen nachweisen. Dies wird auch häufig in der Kriminalistik genutzt. Wir haben dieses Wissen bereits in unserer Online-Phase erarbeitet und dazu zuhause experimentiert und konnten es so in Adelsheim anwenden, um bei einem Kriminalfall dem Täter auf die Schliche zu kommen.

Zu unserer Präsenzzeit in der Sommerakademie bauten unsere Kursleiter:innen nämlich einen kleinen Escape-Room für uns auf. Es begann damit, dass wir mit der Geschichte konfrontiert wurden, dass Thorsten von der Theater-KüA in unserem Chemielabor ermordet wurde. Auf seiner Jeanshose, die uns die



Abb. 15: Mord im Chemielabor – doch wer trägt die Schuld?

Spurensicherung glücklicherweise hinterlassen hatte, mussten wir zunächst sein Blut von den Ketchup- und Farbflecken unterscheiden, die er auf seiner Hose gesammelt hatte. Hierzu erhielten wir den Hinweis, dass an einem uns unbekannten Ort im Chemielabor ein kleines Sprühfläschchen versteckt war.

Als wir das Sprühfläschchen fanden, konnten wir auf einem Schild, das auf der Flasche klebte, „Luminol“ lesen. Wir sprühten das Luminol auf die Flecken auf der Kleidung und sahen einen Fleck lumineszieren, und da dies nur bei dem einen Fleck der Fall war, schlossen wir, dass es sich hierbei um Blut handelte.

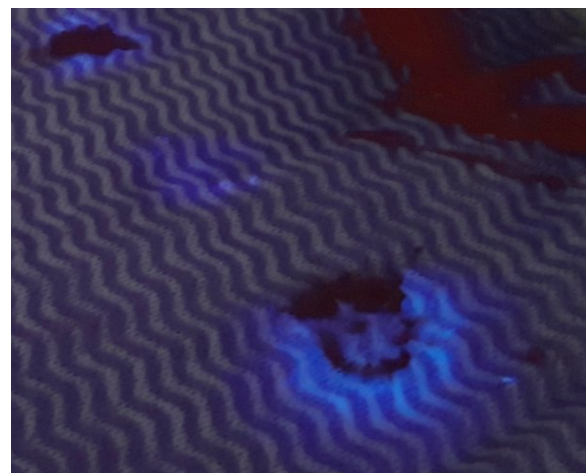


Abb. 16: Die Lumineszenz entlarvt den Blutfleck

Warum luminesziert jedoch Blut in Kombination mit Luminol?

Luminol selbst emittiert Licht in Kombination mit einem Oxidationsmittel, hierzu wird

meist Wasserstoffperoxid genutzt, dies funktioniert jedoch nur, wenn die Reaktion ausreichend schnell abläuft. Hierzu benötigt man einen Katalysator. Der Katalysator in diesem Falle ist das Eisen, welches komplex in den Erythrozyten eingelagert ist. Genauer gesagt befindet es sich in der Häm-Gruppe des Hämoglobins. Dieses Eisen reicht aus, um die Reaktionsgeschwindigkeit stark genug zu beschleunigen, dass das Luminol dabei chemoluminesziert (Abb. 16). So konnten wir also das eisenhaltige Blut vom Ketchup und der roten Farbe unterscheiden, die beide kein Eisen enthielten.

Anschließend konnten wir über die Blutgruppen eindeutig einen Täter und somit den Mörder Thorstens feststellen.

Blutzucker und Diabetes

DAVID LI, GRETA KLAUSER, JULIA KEHRER

Blutzuckerkreislauf

Unser Körper ist jeden Tag vielen Einflüssen ausgesetzt; deshalb gibt es in unserem Körper einige Regelkreise, die für ein Gleichgewicht der physiologischen Körperfunktionen (Homöostase) sorgen. So gibt es auch das Blutzuckersystem mit der Bauchspeicheldrüse, auch Pankreas genannt, die den Glucosewert im Blut überwacht und steuert.

Dazu besitzt der Körper die sogenannten „Langerhans-Inselzellen“ im Pankreas und die daran sitzenden Glut-2-Rezeptoren. Sie haben die Fähigkeit, Glucose zu erkennen. So messen sie den Blutzuckerspiegel und können korrigierende Prozesse anstoßen, sollte dieser zu hoch oder zu niedrig sein.

Essen wir beispielsweise etwas, gelangt die Nahrung als Glucose ins Blut und die Pankreaszellen registrieren dementsprechend die Menge an Zucker im Körper. Er wird mittels der Glut-2-Rezeptoren in die Zelle aufgenommen und dort über den Citronensäurezyklus, einem komplizierten Prozess, den wir im Kapitel Zellatmung bereits genauer beschrieben haben, in ATP umgewandelt, welches drei Phosphate gebunden hat, eine kleinere Energieeinheit als Glucose

bildet und deshalb für den Körper besser abrufbar ist. Dieses ATP versperrt aber auch die Kaliumkanäle der Zellen, weshalb das einfach positiv geladene Kalium innerhalb der Zelle nicht mehr nach außen diffundieren kann. Zusätzlich sorgt die Hemmung des Kanals durch ATP dafür, dass die Spannung zwischen Zellinnerem und Umgebung vermindert wird. Dadurch können sich wiederum die Calciumkanäle der Zelle öffnen und das extrazelluläre Calcium kann hineinströmen, um die Konzentration davon inner- und außerhalb der Zelle auszugleichen. Das einströmende Ca^{2+} kann nun die Vesikel, bläschenartige Strukturen mit Insulin, aktivieren. Sie bewegen sich dann zur Zellmembran, verschmelzen mit ihr und geben das gespeicherte Insulin nach außen ab.

Es wird mittels der Blutbahnen im Körper verteilt und dockt an die Körperzellen an, woraufhin es diesen ermöglicht wird, Glucose aus dem Blut aufzunehmen. Die Zellen in der Leber bekommen dabei die besondere Aufgabe, die Glucose in Glykogen umzuwandeln und zu speichern. So senkt sich der Blutzuckerspiegel wieder auf ein normales Niveau.

Der direkte Gegenspieler von Insulin ist das Glucagon. Wenn wir zum Beispiel Sport treiben, wird Glucose für die Zellatmung benötigt und verbraucht und der Blutzuckerspiegel sinkt ab. Das registriert das Pankreas und schüttet Glucagon aus. Im Gegensatz zum Insulin sorgt es dafür, dass das in der Leber gespeicherte Glykogen wieder zurück in Glucose verwandelt wird und in den Blutkreislauf gelangt. Der Blutzuckerspiegel steigt daraufhin und das Gleichgewicht ist wieder hergestellt. Diese Regulation funktioniert bei einem gesunden Menschen vollautomatisch und ohne äußere Hilfe.

Diabetes

Egal ob in der Verwandtschaft, im Freundeskreis oder im Fernsehen, viele haben vielleicht schon einmal von der mysteriösen Zuckerkrankheit gehört. Doch was ist denn überhaupt Diabetes? Wie erkennt und wie behandelt man ihn?

Bevor wir anfangen, müssen wir klarstellen, dass es zwei Arten von Diabetes gibt. Den

Diabetes Typ 1 und Typ 2. Wie bereits beschrieben stößt die Bauchspeicheldrüse, auch Pankreas genannt, Insulin dann aus, wenn der Blutzuckerspiegel zu hoch ist. Bei Diabetes Typ 1 handelt es sich um eine Autoimmunerkrankung. Das heißt, dass das körpereigene Immunsystem gegen die insulinproduzierenden Langerhans-Inselzellen vorgeht und sie zerstört. Dies führt zu einem dauerhaften Mangel an Insulin bis hin zur Einstellung der Insulinproduktion. Dadurch kann die Leber Glucose nicht mehr zu Glykogen umwandeln, weshalb der Blutzuckerspiegel dauerhaft erhöht ist. Das hat viele schwerwiegende Folgen, falls es unbehandelt bleibt, und erklärt die vielen früher rätselhaften Symptome.

Diabetes ist in Wirklichkeit nur eine Abkürzung und heißt ausgeschrieben eigentlich Diabetes Mellitus. Doch was bedeutet das? Diabetes Mellitus ist lateinisch und bedeutet so viel wie honigsüßer Durchfluss. Mit Durchfluss ist in diesem Fall Urin gemeint. Als man früher noch nicht über die modernen Blutzuckermessmethoden verfügte, testete man schlicht und einfach den Urin auf seinen Geschmack und stellte fest, dass er honigsüß schmeckte. Aber wieso ist das so? Da der Zuckergehalt im Blut zu hoch ist, versucht der Körper, Zucker über den Urin auszuscheiden. Zucker bindet Wasser, weshalb der Körper somit sehr viel Urin ausstößt. Patienten verlieren so vergleichsweise viel Wasser und verspüren daher einen starken Durst.

Ein weiteres Symptom, unter dem viele Diabetiker leiden, ist das schlechter werdende Sehvermögen. Das liegt nicht daran, dass sie kurzsichtig oder weitsichtig sind, sondern dass Wasser in die Augenlinse gelangt, da der osmotische Druck wegen des hohen Blutzuckerwertes sehr hoch ist. Somit wird mehr Wasser in die Augenlinse eingelagert, wodurch sich ihr Brechungsindex verändert. Ein weiteres wichtiges Symptom entsteht, da die Glucose ohne Insulin nicht in unsere Körperzellen aufgenommen werden kann und im Blut verweilt, weshalb sie anderswo im Körper fehlt. Sie ist der wichtigste Energielieferant unseres Körpers. Weil unser Körper Glucose in diesem Zustand nicht sinnvoll nutzen kann, greift er auf Fettreserven als Energielieferant zurück, was zu Gewichtsverlust führen kann. Dabei entstehen auch Müdigkeit,

Schwäche und Konzentrationsstörungen, da innerhalb der Zellen ein Energiemangel besteht.

Auch für Diabetes Mellitus Typ 2 kann eine bestimmte Veranlagung vererbt werden. Ob man im Laufe seines Lebens erkrankt, hängt dann wiederum von vielen Faktoren ab. Unter anderem zählen dazu Übergewicht, ungesunde Ernährung, fehlende Bewegung und wie bereits genannt auch genetische Faktoren. Beim Diabetes Typ 2 wird aber nicht die Insulinproduktion eingestellt wie beim Typ 1. Es wird hier stattdessen so viel Insulin hergestellt, dass die Körperzellen eine Insulinresistenz bilden, d. h. dass sie sich an den hohen Insulinwert im Blut gewöhnt haben und dies nicht mehr seine volle Wirkung entfalten kann. So können die Zellen in unserem Körper nicht mehr genug Glucose aus dem Blut aufnehmen. Das führt auch zu einem ständig hohen Blutzuckerwert. Dabei sind die Symptome ähnlich wie bei Diabetes Typ 1.

Dank der vielen Forschung auf diesem Gebiet gibt es heute die verschiedensten Methoden, diese Volkskrankheit zu behandeln, sodass Diabetiker ein fast normales Leben führen können. Zuerst muss man den Blutzuckerspiegel des Patienten wissen. Dafür kann man sich entweder regelmäßig in den Finger stechen und einen kleinen Tropfen Blut entnehmen (dazu später noch mehr) oder einen Sensor mit einer dünnen Nadel, die bis ins Gewebe reicht, an den Arm kleben, von dem man die Werte auf dem Handy oder mit einem Gerät ablesen kann.

Nachdem der Blutzuckerspiegel gemessen wurde, kann der Patient dann beurteilen, ob Insulin oder Glucose benötigt wird. Glucose benötigt er, wenn er z. B. Sport getrieben hat und deswegen dem Körper Energie fehlt, da die Leber das Signal nicht bekommt, Glucose auszuschütten. Insulin kann man sich entweder mit einer Insulinpumpe oder mit einem Insulinpen spritzen.

Wie auf Abb. 17 gezeigt kann man die Insulinpumpe mit sich tragen. Diese Behandlungsmethode ist besonders für Kinder geeignet, die noch nicht selbstständig mit dem Insulinpen umgehen können. Beim Insulinpen handelt es sich um eine Spritze, bei der man manuell die Insulinmenge einstellen kann. Beim Diabetes Typ 2 hingegen kann es manchmal schon ausrei-

chen, einen besseren Lebensstil zu führen oder Tabletten einzunehmen, die den Blutzucker senken.

Wie man sehen kann, ist Diabetes eine ganz alltägliche Krankheit, von der etwa 8 Mio. Deutsche betroffen sind. Wenn man also morgens auf dem Weg zur Arbeit oder zur Schule so einen Knopf am Arm eines Passanten sieht, weiß man in der Zukunft, was er zu bedeuten hat.



Abb. 17: Diabetes-Patient mit Insulinpumpe³

Blutzuckermessung

Den Blutzuckerspiegel kann man mit den entsprechenden Geräten auch manuell messen. Bei der einfachsten Methode wird einem in den Finger gestochen, und das hervorquellende Blut wird von einem kleinen Gerät ausgewertet. Hierbei geht man folgendermaßen vor: Zuerst sollte man den Finger, an dem man plant, die Haut zu durchstechen, reinigen und desinfizieren. So verhindert man, dass Keime später durch die kleine Wunde eindringen können. Anschließend sticht man mit einer Stechhilfe, an deren Ende eine hauchdünne Nadel/Lanzette steckt, in die Seite eines beliebigen Fingers und drückt einen kleinen Blutropfen aus der Wunde. Dieser wird auf das untere Ende eines Teststreifens gegeben und das dazugehörige Gerät ermittelt daran die Glucosekonzentration im Blut.

Da der Blutzucker direkt mit Diabetes zusammenhängt, kann man sich diesen Wert auch zunutze machen, um herauszufinden, ob der

Körper (genügend) Insulin ausschüttet. Um nun mithilfe der Blutzucker-Messung nachvollziehen zu können, ob eine Person Diabetes hat, haben wir uns einen wissenschaftlichen Versuch erarbeitet und dabei auch das Erstellen wissenschaftlicher Protokolle geübt.

Wissenschaftliche Protokolle

Zu wissenschaftlichen Themen, wie Diabetes, kann man viele interessante Experimente machen. Doch was muss man bei der Notierung beachten? Was ist wichtig bei wissenschaftlichen Protokollen?

Zuerst müssen auf der Titelseite der Titel, die Autor:innen, das Datum und eine kurze Beschreibung des Themas genannt werden.

In der Einleitung nennt man zuerst die Problemstellung, die Fragestellung oder die Hypothese. Nun muss die Methode erläutert werden, hierzu gehört die Beschreibung der Ausführung des Versuches und die verwendeten Materialien. Nach der Nennung der Ergebnisse werden in der Diskussion Vergleiche mit Quellen und eine zusammenfassende Bewertung angestellt. Zum Schluss muss die Literatur angegeben werden, das heißt die verwendeten Quellen.



Abb. 18: Blutzuckermessung an der Fingerkuppe

Wichtig ist es außerdem, in wissenschaftlichen Versuchen Kontrollgruppen mitzumessen und mehrere Messungen anzugeben.

In unserem Test konnten wir nur zwei Personen einschließen, und daher in jeder „Gruppe“ nur eine Einfachmessung machen. Zu Beginn entnahmen wir erst einmal Kontrollwerte der Testpersonen. Person 1 (Anna, blau) war

³Abbildung: Wikipedia
(Björn Heller, CC BY-SA 2.0/de)

dabei seit ca. 10 Stunden nüchtern, Person 2 (Jana, orange) hatte kurz zuvor gefrühstückt. Anschließend nahmen beide 75 g Glucose zu sich, und wir erhoben im Zehnminutentakt die Blutzuckerwerte. Dabei kamen die Kurven in Abbildung 19 zustande.

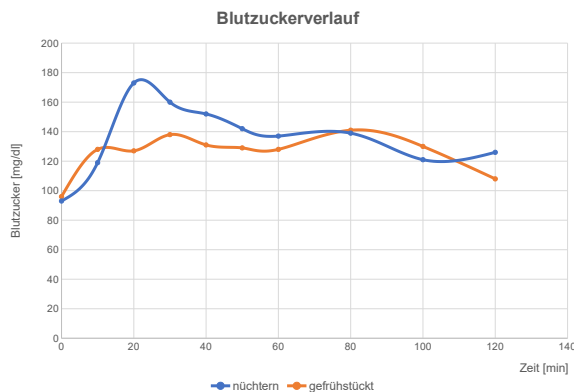


Abb. 19: Unsere Blutzuckermesswerte

Bei Person 1 kann man innerhalb der ersten 20 Minuten einen starken Anstieg erkennen, denn da die Glucose nicht weiter zerlegt werden muss, gelangt sie schnell ins Blut. Nach diesen 20 Minuten sinken die Werte jedoch wieder, erst recht schnell, dann wieder langsamer. Dieser Verlauf zeigt uns, dass die Bauchspeicheldrüse aktiv geworden ist und Insulin ausgeschüttet hat, welches nun wirkt und den Blutzuckerspiegel auf ein normales Niveau senkt.

Auch bei Person 2 lässt sich zu Beginn ein Anstieg ausmachen, allerdings ist dieser weniger hoch. Im Anschluss schwanken die Werte in moderaten Bereichen und sinken gegen Ende wieder ab. Der weniger starke Anstieg hängt vermutlich damit zusammen, dass die Person gefrühstückt hatte und dementsprechend noch Insulin von der Regulation dieser Mahlzeit im Blut war. Es dauerte also nicht so lange, bis das Insulin an den Zellen wirken und den Blutzuckerspiegel senken konnte.

Wir können hier bei beiden Personen beobachten, wie die Bauchspeicheldrüse ihrer Aufgabe nachkommt, den Blutzuckerspiegel in unserem Blut konstant zu halten, und gehen daher davon aus, dass keine unserer Probandinnen an Diabetes erkrankt ist.



Abb. 20: Messwerte müssen sorgfältig dokumentiert werden

Blutbildung und Leukämie

CELINE BENNEK

Während des Onlineunterrichts haben wir uns unter anderem auch mit dem interessanten Thema „Leukämie“ beschäftigt. Leukämie ist eine Krankheit, die umgangssprachlich auch als „Blutkrebs“ bekannt ist, und woher dieser Name stammt, haben wir unter anderem in unserem Medizinkurs erfahren.

Im Kapitel Blutsenkung haben wir uns ja schon mit der Blutsenkungsgeschwindigkeit beschäftigt. Was wir dort nicht weiter erklärt haben, ist die dritte Schicht, die sich normalerweise nur sehr schwer erkennen lässt: Zwischen den beiden Hauptschichten aus Blutzellen und Blutplasma erscheint eine feine Schicht Leukozyten, die auch als weiße Blutzellen bekannt sind.

Leukozyten, Erythrozyten und Thrombozyten entstehen im Knochenmark, und diese Blutbildung wird auch Hämatopoese genannt. „Poes“ bedeutet hier „Bildung“, in diesem Fall des Blu-

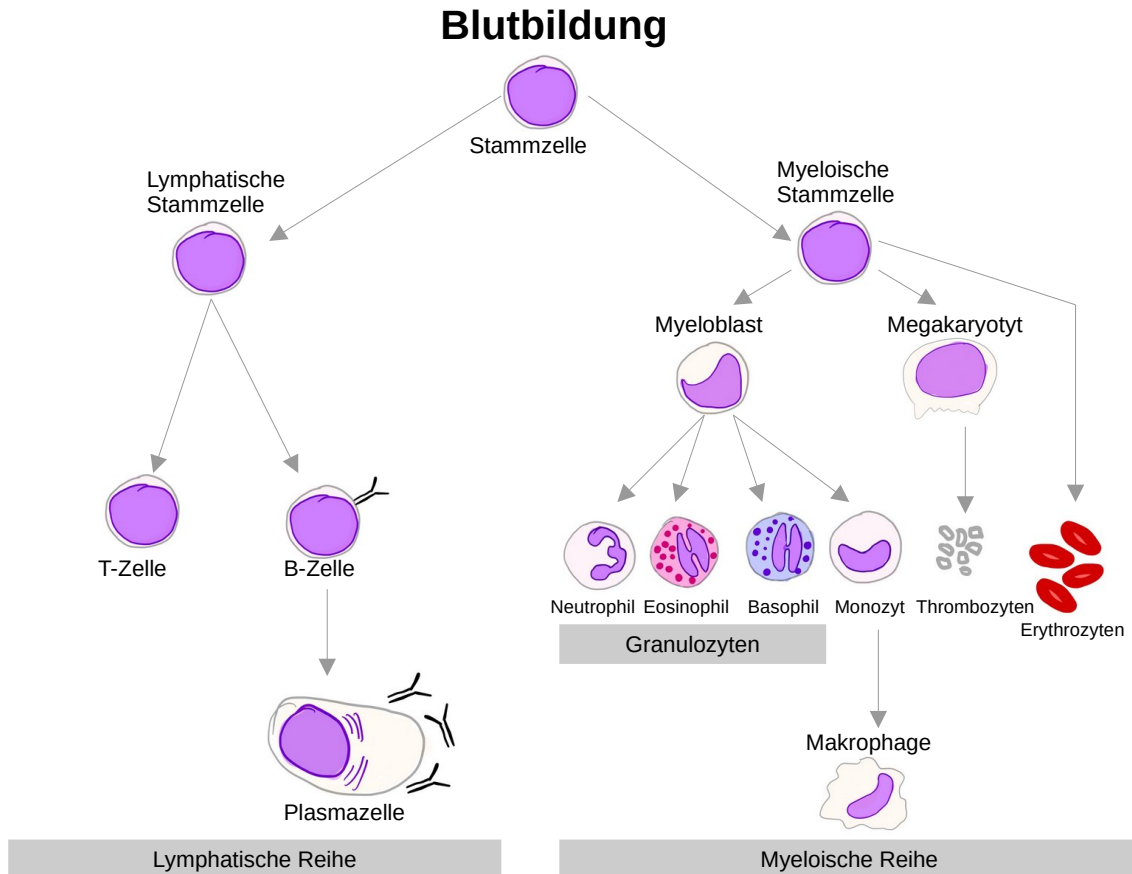


Abb. 21: Schematische Darstellung der Blutbildung

tes, Abbildung 21 zeigt die einzelnen Schritte dieser Blutbildung.

Bei der Hämatopoese bildet die Stammzelle zunächst eine lymphatische und eine myeloische Stammzelle, welche sich jeweils weiter differenzieren (sie reifen aus). In der lymphatischen Reihe entstehen die T- und die B-Zellen, wobei die B-Zelle sich im Laufe der spezifischen Immunantwort auch noch zu einer Plasmazelle umwandeln kann. In der myeloischen Reihe differenziert sich die Stammzelle zunächst zu einem Myeloblasten, zu einem Megakaryozyten und zu einem Erythrozyten. Die Erythrozyten bleiben so bestehen, doch der Myeloblast entwickelt sich zu unterschiedlichen Granulozyten und zu einem Monozyten, der sich zur Makrophage weiterentwickelt. Zuletzt gibt es noch den Megakaryozyten, der mehrere Thrombozyten abschnürt.

Doch auch zwischen der Entwicklung von einer zur nächsten Zellart gibt es immer wieder kleine Zwischenschritte. Betrachtet man zum Beispiel

die Differenzierung von dem Myeloblasten zum neutrophilen Granulozyten, so wird der Myeloblast zuerst zu einem Promyelozyten, dann zu einem Myelozyten, einem Metamyelozyten, einem stabkernigen Granulozyten, einem segmentierten Granulozyten und schlussendlich erst zu dem neutrophilen Granulozyten. Auf dieser Entwicklung nimmt das Teilungspotential der Zelle immer weiter ab, während sie jedoch immer weiter ausdifferenziert wird, was bedeutet, dass sie weiterentwickelt und sowohl strukturell als auch funktionell spezialisiert ist.

Durch das hohe Teilungspotential der Myeloblasten steigt auch das Fehlerpotential, was bedeutet, dass bei der ständigen Teilung der Zellen immer wieder Fehler auftreten. Bei der Zellteilung werden die genetischen Informationen der Ausgangszelle so aufgeteilt, dass beide Tochterzellen die identischen Erbinformationen der Ausgangszelle erhalten. Dafür muss die gesamte Information zunächst einmal kopiert werden. Dabei kommt es immer wieder

zu Fehlern in der kopierten Erbinformation. Normalerweise ist dies kein großes Problem für unseren Körper, da diese Fehler erkannt und repariert werden. Doch wenn diese fehlerhafte Zellteilung nicht erkannt wird und übermäßig zunimmt, können sich unausgereifte, entartete Leukozyten unkontrolliert vermehren. Dann spricht man von der Krankheit Leukämie. Es entstehen viel zu viele unausgereifte, funktionsuntüchtige Leukozyten, die außerdem viel Platz im Knochenmark einnehmen und so die Entstehung der Erythrozyten und Thrombozyten im Knochenmark verhindern.

Durch die Störung der Erythropoese, Thrombopoese und Leukopoese (Poese bedeutet wie schon erwähnt Bildung) kommt es zu Symptomen, die charakteristisch für Leukämie sind. Durch die Störung der Erythropoese kommt es zu einer Anämie (Blutarmut), weshalb sich Symptome wie Müdigkeit, Blässe und Kurzatmigkeit bemerkbar machen, da der Sauerstofftransport nicht mehr richtig funktionieren kann. Die Störung der Thrombopoese führt zu einer Blutungsneigung, wobei Nasenbluten, blaue Flecken, Petechien (das sind kleine stecknadelkopfgroße Einblutungen in der Haut oder Schleimhaut) und verlängerte Periodenblutungen auftreten können, weil Blutgerinnung und Blutstillung ohne funktionelle Thrombozyten nicht funktionieren können. Zuletzt wird noch durch die Störung der Leukopoese eine Infektanfälligkeit hervorgerufen, welche sich durch wiederkehrende, langanhaltende Erkältungen bemerkbar machen kann.

Es gibt verschiedene Arten der Leukämie, und zwar unterscheidet man zwischen der „Akuten Lymphatischen Leukämie“ (kurz ALL), der „Akuten Myeloischen Leukämie“ (kurz AML), der „Chronischen Lymphatischen Leukämie“ (kurz CLL) und der „Chronischen Myeloischen Leukämie“ (kurz CML). Die lymphatischen Leukämien brechen meistens in jungem Alter aus, da die B- und T- Zellen vor allem vor der Pubertät in unserem Körper reifen. Die myeloischen Leukämien dagegen entstehen durch äußere Einwirkungen wie Strahlung oder andere Giftstoffe, die die Zellteilung stören, und treten daher erst etwas später auf. Außerdem ziehen sich chronische Leukämien über einen längeren Zeitraum hing und entwickeln sich

langsam und schleichend, während sich die unreifen Leukozyten bei den akuten Leukämien explosionsartig schnell vermehren.

Glücklicherweise gibt es inzwischen Behandlungsmöglichkeiten für Leukämie. Die Leukämie kann mit einer Chemo- oder Strahlentherapie oder mit einer Stammzelltransplantation behandelt werden. Hier stehen die Heilungschancen bei einer Ersterkrankung bei 90 % und bei einer rezidivierenden (erneuten) Erkrankung bei 60 %.

Filmabend mit Popcorn und „Es war einmal . . . das Leben“

WENZEL LEPSCHY

Am Donnerstag, dem 2. September, war die Rotation, in der die verschiedenen Kurse ihre bisher gelernten Themenfelder präsentierten. Nach der anstrengenden Vorbereitung und dem positiven Feedback unserer Präsentation griffen wir am Abend etwas auf, womit wir uns schon am Eröffnungswochenende kurz beschäftigt hatten, und zwar das Schauen der beliebten Serie: Es war einmal . . . das Leben. In der Kinderserie aus den 80ern werden verschiedenste Mechanismen und Funktionen des Körpers auf bildliche und verständliche Art und Weise dargestellt. Dabei werden die Aspekte wissenschaftlich fundiert erklärt und gezeigt, sodass Jana uns ganz begeistert mehrere Folgen zeigte.

In der einen ging es um den normalen Alltag des Blutes. Während wir selbstgemachtes Popcorn aus dem uns zugeschickten Akademiekalender aßen, wurden die Erythrozyten (die roten Blutkörperchen) gezeigt, wie sie den Sauerstoff von der Lunge zu den Zellen brachten und das Kohlenstoffdioxid von den Zellen zurück zur Lunge. Bei einer kleinen Invasion von Krankheitserregern (Pathogenen) rückten schnell die Fresszellen (Makrophagen oder Phagozyten) aus und bekämpften diese, wobei bei einem größeren Infekt die Leukozyten (die weißen Blutkörperchen) aktiviert wurden und somit spezifisch gegen diese ankämpfen konnten. So kamen wir auch zur Krankheit Leukämie. Es wurde gezeigt, wie durch eine vorhin beschriebene falsche Replikation, also ein fehler-

haftes Kopieren der Erbinformation, bei der Produktion der betroffenen Knochenmarkzellen das Knochenmark plötzlich fast nur noch weiße Blutkörperchen herstellte und dadurch der Körper ein sehr großes Problem hatte. Das betroffene Kind in der Geschichte konnte jedoch dank einer Bluttransfusion und gespendeten Knochenmarkzellen des Bruders wieder genesen.

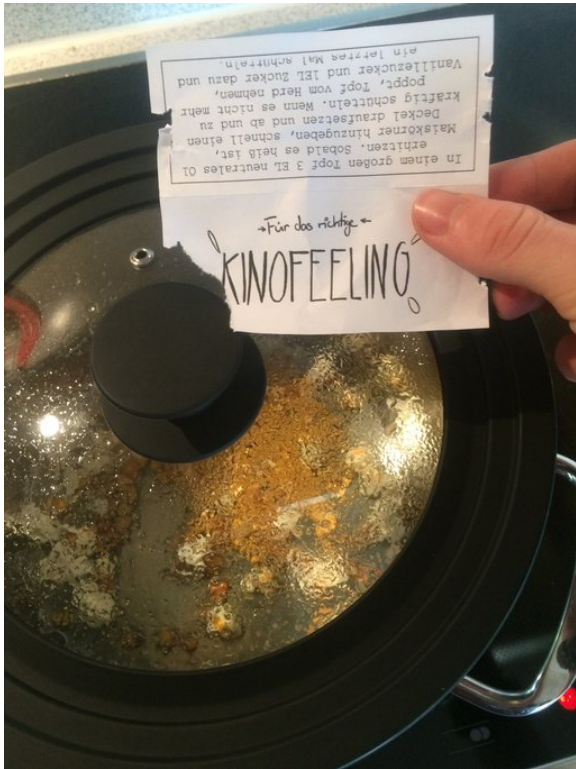


Abb. 22: Das Popcorn-Set aus dem Akademiekalender versüßte uns den Filmabend

Während der zwei Stunden, die wir ungefähr damit verbrachten, hatten wir die Aufgabe, so viele Zellen wie möglich zu fotografieren und diese am Ende der Kursschiene mit dem wissenschaftlichen Begriff zu benennen. Nun war es ungefähr 19 Uhr, und wir verabschiedeten uns und freuten uns schon auf den bald kommenden Samstag, wo wir uns alle endlich in 3D sehen würden.

Jeopardy

JULE REICHERT

Um die gelernten Sachverhalte spielerisch anzuwenden, haben wir in der Akademiezeit das

Spiel „Jeopardy“ kennengelernt. Bei diesem Quiz geht es darum, die passende Frage auf die vorgegebene Antwort, die sich unsere Kursleiter:innen ausgedacht hatten, zu finden. Jeopardy konnte man online, aber natürlich auch vor Ort in Adelsheim spielen. Wir teilten uns in mehrere Gruppen auf, die gegeneinander spielten. Es wurde die Antwort vorgelesen, auf die wir eine passende Frage finden mussten. Die schnellste Gruppe durfte ihre Lösung sagen. In Adelsheim hatten wir sogar einen „menschlichen Buzzer“: unseren Schülermentor Leo, den man „drücken“ musste, bevor man die Lösung sagen durfte.



Abb. 23: Unser Buzzer ist bereit für die nächste Frage

Als wir das Spiel in Adelsheim spielten, war es punktetechnisch sehr knapp, und die Teams hatten alle ungefähr die gleiche Punktzahl. Es war die letzte Frage, und alle wussten, dass es darauf ankam: Das Team, das diese letzte Frage richtig beantwortet, würde das Quiz gewinnen. Es war spannend, und der ganze Kurs war hochkonzentriert. Die vorgegebene Antwort wurde vorgelesen, und noch im selben Moment stürmten alle los, um den Buzzer zu drücken.

Wie man merkt, bereitete das Quiz uns allen sehr viel Spaß, und es war eine sehr gute Methode, die Themen zu wiederholen.

Ein kreativer Einblick . . .

DAVID LI

Unser Thema dieses Jahr ist das sogenannte Blut,

viele kenn' es das ist wahr,
aber nicht (ganz) so gut/absolut ...

So wurden die anderen Kurse wachgerüttelt,
als sie an einem Donnerstagmorgen verschlafen
vor dem Rechner saßen und sich im Plenum
versammelt hatten. Denn heute war der Tag,
an dem der Medizinkurs an der Reihe war, das
Gelernte in einem kreativen Vortrag vorzustel-
len. Trotz eines spontanen Personalschwunds,
der einen wichtigen Part übernehmen sollte,
und eines verpassten Einsatzes, den hoffentlich
niemand bemerkte, waren am Ende doch alle
ziemlich überrascht, wie gut das Ganze online
funktionierte. Denn das alles ist kein Gedicht,
wie es auf den ersten Blick aussieht. Ganz im
Gegenteil – es ist ein Beispiel der heutigen Ju-
gendkultur Deutschrap.

Als wir uns zwei Tage vorher zusammensetzten,
wusste niemand wirklich, was wir als kreative
Vorstellung machen wollten. Uns war dabei nur
eines klar, es musste etwas Einzigartiges und
wirklich Sehenswertes sein. Nach langem Grü-
beln kamen wir auf die Idee, zusammen einen
Rap vorzutragen, ja sogar zu schreiben. Das
Schwierige dabei war, dass wir möglichst viele
Fachbegriffe einbauen wollten, wobei das Ganze
Sinn ergeben und sich reimen musste. Deswe-
gen setzten wir uns in der nächsten Mittagspau-
se schon direkt hin, um diese langen komplexen
Wörter zu einem sinnvollen Gemisch zusam-
menzusetzen. Doch gegen Ende, als uns die
Reime ausgingen, bauten wir einfach ein paar
lustige Wörter ein. Das alles haben wir anschlie-
ßend zu einem Beat gerappt⁴. Wir hoffen, es
gefällt Euch:

Unser Thema dieses Jahr
ist das sogenannte Blut,
viele kenn' es, das ist wahr,
aber nicht so absolut.

Rote Blutzellen, Erys genannt,
weiße Zellen als Lymphies bekannt,
dann gibt's noch die Monozyten,
Granulozyten, Thrombozyten.

Was uns alle interessiert,
dass man hier mikroskopiert.
Blutgerinnung und Osmose,

Diabetes und Glucose.
Blutgruppen und Antikörper,
das sind unsre fachlichen Wörter.

Was bei Diabetes fehlt,
das ist das Insulin.
Das ist relevant
und ein besonderes Protein.

Dies sitzt in dem Pankreas,
wie's rauskommt, finden wir sehr krass.
Dies geschieht in Kapillaren,
da ham' wir paar' Exemplare .

Was uns alle interessiert,
dass man hier mikroskopiert.
Blutgerinnung und Osmose,
Diabetes und Glucose.
Blutgruppen und Antikörper,
das sind unsre fachlichen Wörter.

Im Mensch gibt's den Normalzustand,
das nennen wir physiologisch.
Dann seid ihr sicherlich gespannt,
das Gegenteil ist pathologisch.

Wichtig ist der Rhesus-Faktor
und das Forschen im Heim-Labor.
Und bloß nur keine Verbrennung,
sonst kommt wieder die Gerinnung.

Was uns alle interessiert,
dass man hier mikroskopiert.
Blutgerinnung und Osmose,
Diabetes und Glucose.
Blutgruppen und Antikörper,
das sind unsre fachlichen Wörter.

Wenn im Körper Antigene
hilft nur noch die Apfelcreme.
Blutsenkungsgeschwindigkeit
wird zu der Verbindlichkeit.
Allsamt BSG genannt,
ist uns allen gut bekannt.

Was uns alle interessiert,
dass man hier mikroskopiert.
Blutgerinnung und Osmose,
Diabetes und Glucose.
Blutgruppen und Antikörper,
das sind unsre fachlichen Wörter.

⁴ „Next Level“ – Freestyle Trap Beat Free Rap Hip
Hop Instrumental 2018 | SeriouzBeats #Instrumentals
– YouTube

Quellen

Artificial Heart Design Challenge: The source of this material is the TeachEngineering digital library collection at [www.TeachEngineering.org](https://www.teachengineering.org/activities/view/mis_heartbloodflow_act): https://www.teachengineering.org/activities/view/mis_heartbloodflow_act

Blutgruppe – Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Blutgruppe> (18. 9. 2021 10:30 Uhr)

Lehninger Biochemie, David Nelson & Michael Cox, Ausgabe 4 (2009), Springer Verlag

Beat unseres Rap: „Next Level“ – Freestyle Trap Beat Free Rap Hip Hop Instrumental 2018 | SeriouzBeats #Instrumentals – YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=_qzo8fRwWHc)



Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 18. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

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

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 – Schule und Bildung des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 – Allgemein bildende Gymnasien, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin, und Herrn Jan Wohlgemuth, Regierungsschuldirektor und Stellvertretender Leiter des Referats 37 – Allgemein bildende Gymnasien am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.

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

Lange war nicht klar, in welchem Format die Akademie in den Zeiten der Pandemie stattfinden kann. Umso mehr hat es uns gefreut, dass wir uns zumindest im Wechsel in Adelsheim treffen konnten. Dort waren wir wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umwelterziehung (LSZU). Für den durch die Coronasituation bedingten Extraaufwand, die herzliche Atmosphäre und die idealen Bedingungen auf dem Campus möchten wir uns stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums Herrn Oberstudiendirektor Martin Klaiber sowie dem Abteilungsleiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

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

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

Bildnachweis

Seite 13, Abbildung Elektromagnetische Absorption in der Erdatmosphäre:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg

Originalbild: NASA, SVG: Wikimedia-User Mysid/Ariser

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 16, Abbildung Strahlungsspektrum von Schwarzkörpern:

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

Wikimedia-User Prog

CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 17, Abbildung Spin-Flip beim Wasserstoff:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydrogen-SpinFlip.svg>

Wikimedia-User Tiltec

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 19, Abbildung Krebsnebel:

Hubblesite, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2005/37/1823-Image.html>

NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University)

Seite 20, Abbildung Schwarzes Loch M87*:

ESO, <https://www.eso.org/public/images/eso1907a/>

EHT-Kollaboration

CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)

Seite 20, Abbildung Galaxie Messier 87:

NASA/Hubble, <https://hubblesite.org/contents/media/images/2000/20/968-Image.html>

NASA und das Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Seite 22, Abbildung Arecibo-Botschaft „Arecibo message light“:

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

Wikimedia-User Arne Nordmann (norro)

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

Seite 23, Abbildung Wow-Signal:

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

Big Ear Radio Observatory and North American AstroPhysical Observatory (NAAPO)

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 23, Abbildung Verlauf der Empfangsstärke des Wow-Signals:

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

Wikimedia-User Maxrossomachin

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

Seite 40, Abbildung der Skinner-Box:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skinner_box_scheme_01.svg

Wikimedia-User Andreas1, Bearbeitungen Pixelsquid

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

Seite 51, Abbildung Galton-Bett:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galton-Brett.svg>

Wikimedia-User Chrischi

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 52, Abbildung Streckenabschnitte beim Goldenen Schnitt:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19816440>

Wikimedia-User Stannered/Kmhkmh

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 52, Abbildung Rathaus von Leipzig:

Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=8162374>

Stadt Leipzig, eigene Ergänzungen
Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 53, Abbildung Eiffelturm:

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

Wikimedia-User Benh LIEU SONG, eigene Ergänzungen

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

Seite 53, Abbildung Leonardo da Vinci „Vitruvian Man“ (mit Ergänzungen):

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour_2.svg

Wikimedia-User Savak, eigene Ergänzungen

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 56, Abbildung Sonnenblume:

Wikimedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Goldener_Schnitt_Bluetenstand_Sonnenblume.jpg

Dr. Helmut Haß

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

Seite 69, Abbildung Blutfluss durch das menschliche Herz:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latidos.gif>

Wikimedia-User josiño, bearbeitet

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 84, Abbildung Insulinpumpe:

Wikipedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Wearing_pump.JPG

Björn Heller

CC BY-SA 2.0/de (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/legalcode>)

Seite 124, Abbildung Elektromagnetische Absorption in der Erdatmosphäre:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_electromagnetic_opacity-de.svg

Originalbild: NASA, SVG: Wikimedia-User Mysid/Ariser

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 125, Abbildung Photoeffekt:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photoelectric_effect_in_a_solid_-_diagram.svg

Wikimedia-User Ponor

CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 125, Abbildung Hallwachsversuch:

Serlo-Lernplattform, <https://de.serlo.org/community/52504/äußerer-photoelektrischer-effekt-hallwachs-effekt>

Serlo

CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 126, Abbildung Doppelspaltversuch:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61510632>

Johannes Kalliauer

Als gemeinfrei gekennzeichnet

Seite 126, Abbildung Interferenzmuster:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Single_slit_and_double_slit3.jpg

Wikimedia-User Jordgette, Ausschnitt

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

Seite 129, Abbildung Silizium-Atom:

Enargus, https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d11567-2/*/Silizium.html?op=Wiki.getwiki

Enargus

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

Seite 130, Abbildung p-n-Übergang:

Enargus, https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d14511-2/*/p-n-Übergang.html?op=Wiki.getwiki

Enargus

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

Seite 132, Abbildung Verluste einer Solarzelle:

Enargus, https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d13357-2/*/Verluste_einer_Solarzelle.html?op=Wiki.getwiki

Enargus

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

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

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