

SONDERDRUCK

aus

2 | 2022

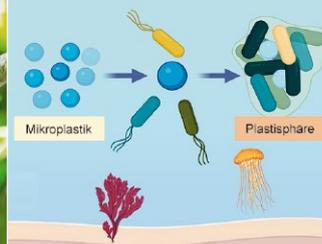
VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



ZOOLOGIE

Monogamie bei
Springaffen



MIKROBIOLOGIE

Bakterien als
Plastikmüllabfuhr



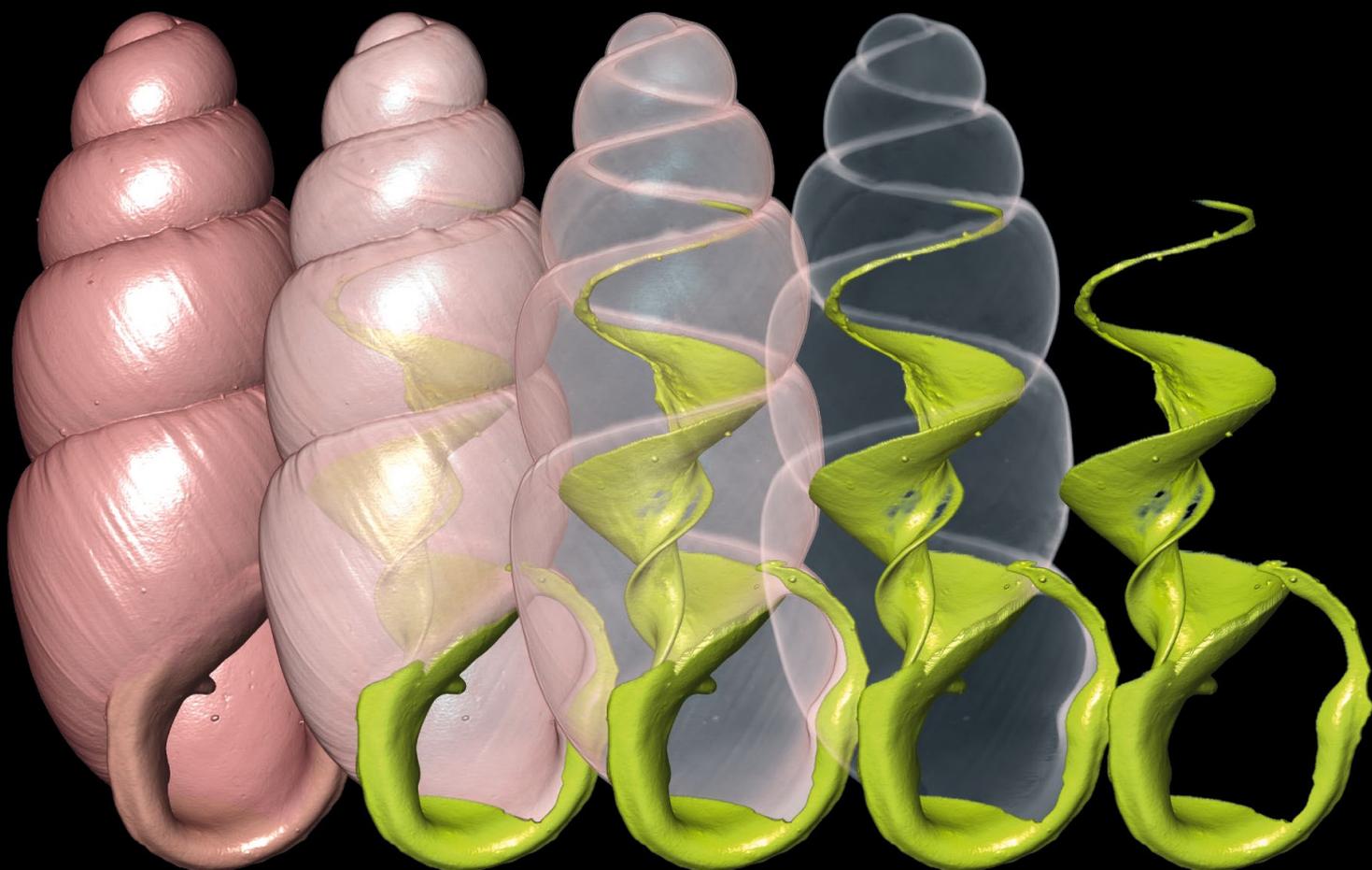
SCHULE

Die Immuno-Viren-
Show

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

**Mit Röntgen
in die dritte Dimension**



Verständliche Immunabwehr durch anschauliche Modelle

Mit Staubsaugern und Handschuhen gegen Viren

ANDREAS KORN-MÜLLER

Nicht nur in Corona-Zeiten spielt das Immunsystem unseres Körpers eine wesentliche Rolle für die Gesundheit. Mit einfachen Modellen, anschaulichen Vergleichen und humorvollen Comics lässt sich sowohl das grundlegende Zusammenspiel zwischen Immunzellen, Antikörpern und Antigenen als auch das Auftreten von Mutationen sowie die Wirkweise von Schnelltests besser verstehen.



ABB. 1 Zwei Schülerinnen mit dem Autor und seinen Zellmodellen nach einer Wissenschaftsshow im Deutschen Museum.

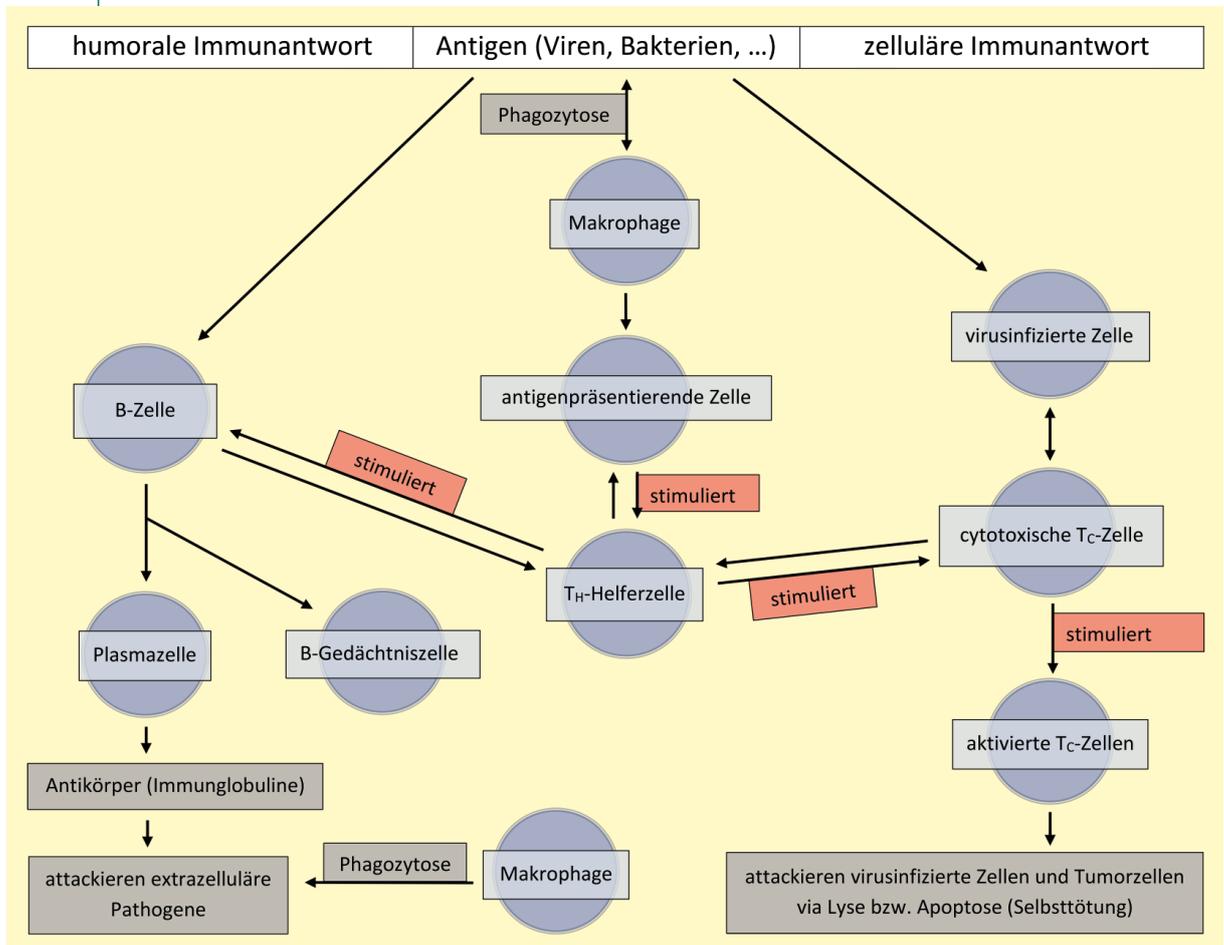
In zwei meiner acht Wissenschaftsshow spielt das Immunsystem eine wichtige Rolle, bei der „HIV-Biochemie-Show“ und der „Immuno-Viren-Show“. Zielgruppe sind vor allem Schüler/-innen ab der 7. Klasse, beispielsweise bei einer Show im Deutschen Museum in München (Abbildung 1) oder bei Wissenschaftsfestivals wie den „Science Days“ sowie in Schulen. Eine weitere Zielgruppe meiner öffentlichen Shows sind wissenschaftlich interessierte Laien, die mit Hilfe von anschaulichen und humorvollen Modellen auch emotional angesprochen werden. Dabei geht es in erster Linie darum, Wissen zu vermitteln, indem Neugier und Begeisterung geweckt werden. Das eher Abstrakte und Unsichtbare wird haptisch begreifbar gemacht, was auch den naturwissenschaftlichen Unterricht enorm aufwerten kann. Die via PowerPoint präsentierten Comicfiguren stoßen besonders bei jüngeren Schüler/-innen auf Interesse und Heiterkeit. Dies bestärkt meinen Ansatz zur anschaulichen Modellentwicklung in der Naturwissenschaft. In den Lehrplänen der 7. und 8. Klassen in Bayern und Baden-Württemberg (Mittelschule, Realschule und Gymnasium) ist das prinzipielle Verständnis der Immunabwehr von großer Bedeutung, wie es die aufgeführten Lernbereiche „Immunbiologie“, „Mensch und Gesundheit“ sowie „Schutz- und Abwehrsystem beim Menschen“ verdeutlichen [1–3].

Komponenten des Immunsystems

Die Immunabwehr bei einer Infektion erfolgt zum einen über den humoralen Weg (Antikörper), zum anderen über den zellulären Weg (vor allem T-Killerzellen) und ist ein hochkomplexer und äußerst differenzierter Prozess [4]. Abbildung 2 zeigt eine typische Übersicht der spezifischen Immunantwort, wie sie in vielen Lehrbüchern und im Internet zu finden ist. In meinen Wissenschaftsshow versuche ich, komplexe Sachverhalte möglichst anschaulich und didaktisch reduziert auf das Wesentliche zu konzentrieren, um so ein erstes Grundverständnis zu vermitteln. Beim Thema Immunsystem erfolgt dies auf dreifache Weise: mit Hilfe von selbst gebauten Zellmodellen, mit anschaulichen Vergleichsmodellen sowie mit humorvollen Comics.

In diesem Beitrag werden die fünf wichtigsten Immunzellen und die wesentlichen Immunreaktionen in diesem Sinne vorgestellt – wohl wissend, dass die gesamte Immunabwehr wesentlich komplizierter ist. Die Modelle sind aus einfachen Materialien hergestellt und können für den Unterricht (evtl. von den Schüler/-innen) selbst angefertigt werden. Ein Arbeitsblatt mit den anschaulichen Comics ist online abrufbar.

ABB. 2 | SCHEMA DER HUMORALEN UND ZELLULÄREN IMMUNANTWORT



1. Fresszellen (Makrophagen), die erste Abwehrfront: Staubsauger & Konfetti

Die omnipräsenten, sehr beweglichen Makrophagen (Fresszellen), die meist als Erstes gegen eingedrungene Erreger vorgehen [5] und viele „Ausstülpungen“ aufweisen, kann man mit Staubsaugern vergleichen. Ein mit Latex oder Stoff drapiertes Exemplar ist in Abbildung 3a, die Comic-Version in Abbildung 3b zu sehen. Makrophagen phagozytieren bzw. „saugen“ alles auf, was ihnen vor die

„Tentakeln“ kommt und nicht in unseren Körper hineingeht: Dreck, Staub, Blütenpollen, ein winziger Splitter, ein abgerissenes Zeckengebiss, Pilzsporen, Bakterien, Viren. Krankheitserreger kann man einfach mit einer Handvoll Konfetti darstellen, das anschließend mit dem Staubsauger weggesaugt wird (Abbildung 3c).

2. Antikörperzellen: Handschuh-Fabriken

Die Oberflächenproteine (Rezeptoren) einer jeden Zelle dienen vielerlei Zwecken [6]. Genau diese Rezeptoren benutzen Viren als Andockstelle, als Einfallstor in die Zelle. Denn alle Mikroorganismen und Viren besitzen auf ihrer Oberfläche Proteinmoleküle, die je nach Erregerart genau auf bestimmte zelluläre Rezeptoren passen. In Abbildung 4 sind drei virale Beispiele schematisch dargestellt. Virus und Zelle sagen sich quasi „Guten Tag“ und geben sich (nichtsahnend aus der Sicht der Zelle) die Hände zur Begrüßung. Ein fatales Shakehands! Das Virus krallt sich förmlich am Rezeptor der Zelle fest, zieht sich heran wie ein enterndes Piratenschiff und fusioniert mit der Zelle. Das Virus nutzt das „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ und entert die Zelle.

Antikörper gelten als die wichtigste und mächtigste Waffe gegen Krankheitserreger wie Bakterien und Viren

IN KÜRZE

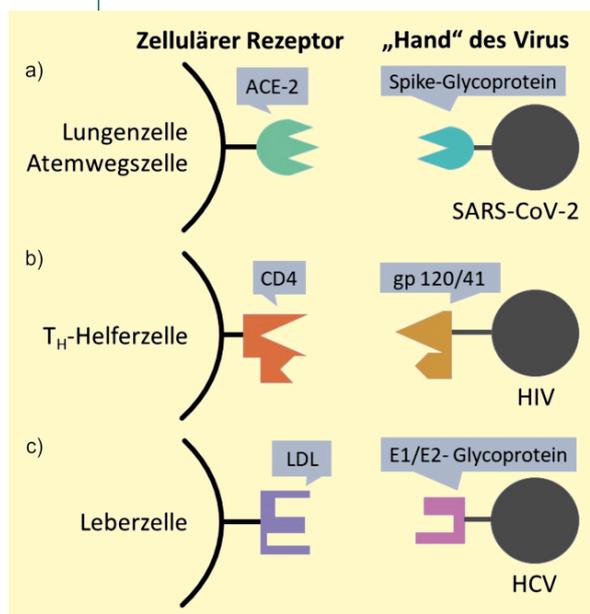
- Mit Hilfe von **selbstgebauten Modellen** werden die Grundzüge der Immunabwehr anschaulich erläutert.
- Aus Styroporkugeln und Pappmaché können **comicartige Immunzellen** erstellt werden.
- Puppenhände und Fausthandschuhe machen die **Antigen-Antikörper-Reaktion** leicht verständlich.
- Eine bewegliche Holzhand veranschaulicht die **Konsequenzen von Mutationen** der viralen Oberflächenproteine.
- Drei Schaufensterpuppenhände, einige Fausthandschuhe und leuchtende Wäscheklammern erklären den **Antikörper- und Antigentest**.

[7]. Um die Wirkweise von Antikörpern anschaulich und verständlich zu erklären, kann man sie mit Handschuhen vergleichen, genauer gesagt mit Fausthandschuhen. Antikörper werden von B-Zellen hergestellt, die man regelrecht als hocheffiziente Fabriken bezeichnen kann. Abbildung 5a zeigt das aus einer Styroporkugel gebaute Modell einer B-Zelle inklusive eines Antikörpers (Handschuh) – gehalten von einem angeschraubten Becher; Abbildung 5b zeigt die Comic-Version einer B-Zelle. Das Geniale dabei: Gegen jeden Erreger kann ein passender Handschuh hergestellt werden [8]. B-Zellen patrouillieren ständig im Körper und tragen dabei ihren jeweils einzigartigen Handschuh mit sich. Trifft eine B-Zelle zufällig auf ein Virus, erkennt sie den Eindringling und versucht, ihren Handschuh über die Hände des Virus zu stülpen. Passt der Handschuh nicht genau auf die virale Hand, ist der Handschuh beispielsweise zu klein oder zu groß, lässt die B-Zelle das Virus wieder los und zieht weiter. Eine andere B-Zelle probiert ebenfalls, ihren Handschuh über die Virus-Hand zu stülpen. Dieses Szenario wiederholt sich solange, bis ein Volltreffer erzielt wird. Passt der Handschuh zufällig genau auf die Hände des Virus, so läuten alle Alarmglocken in dieser B-Zelle, und sie produziert Massen von genau diesem einen passenden Handschuh. Die Folge: Millionen von passgenauen Handschuhen werden in Umlauf gebracht und stülpen sich über die Hände der Viren. Dadurch können die Viren nicht mehr an ihre Zielzellen andocken, es ist kein Shakehands mehr mög-

lich: Die Viren verbleiben außerhalb der Zellen und sind den Fresszellen nun hilflos ausgeliefert.

Ein simples Experiment macht es noch deutlicher: Eine Münze und eine Büroklammer werden auf einen Tisch gelegt. Mit den Fingern kann man diese Gegenstände problemlos greifen und aufnehmen. Zieht man sich aber Fausthandschuhe an, ist das Greifen dieser Gegenstände (fast) unmöglich. Dies können die Zuschauenden in meinen Wissenschaftsshows genauso selbst ausprobieren wie die Schüle/-innen im Unterricht.

ABB. 4 | FATALES ANDOCKMANÖVER



Virale Oberflächenproteine passen nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip auf geeignete Zellrezeptoren (Andockstellen): a) Spike-Protein des Coronavirus SARS-CoV-2 bindet an den ACE-2-Rezeptor, b) gp120/41 des Humanen Immundefizienz-Virus HIV bindet an den CD4-Rezeptor, c) E1/E2 des Hepatitis-C-Virus HCV bindet an den LDL-Rezeptor.

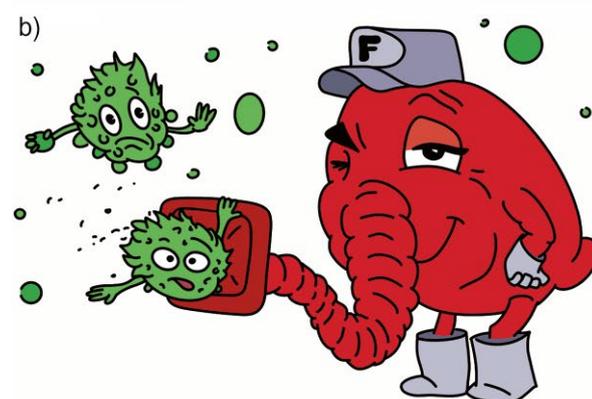


ABB. 3 Modell einer Fresszelle. a) Mit Latex und roter Farbe modifizierter Staubsauger, b) Staubsaugermodell als Comic-Version, c) Staubsaugermodell in Aktion: Erreger-Konfetti wird weggesaugt.

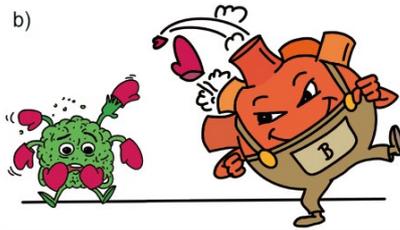
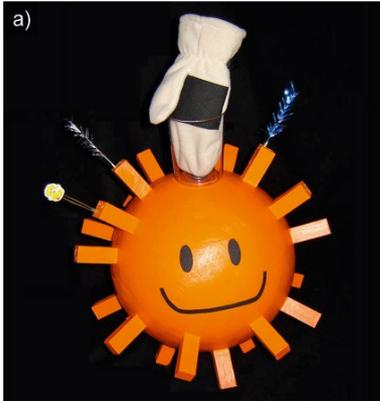


ABB. 5 Modell einer B-Zelle.
a) Mit Pappmaché versteifte und bemalte Styroporkugel (Durchmesser: 30 cm, aus zwei Halbkugeln) mit angeschraubtem Becher als Handschuhhalter. b) B-Zelle und Krankheitserreger als Comic-Version.

3. Gedächtniszellen: Datenbank & Vielfalt

Unser Abwehrsystem ist sehr lernfähig: Passt ein Handschuh auf die Hände eines Erregers, dann wird dieser Handschuh von B-Zellen nicht nur millionenfach kopiert und in die Blutbahn ausgeschüttet. Zusätzlich wandeln sich einige B-Zellen mit ihrem entsprechenden Handschuh in Gedächtniszellen um und werden in einer „Datenbank“ abgespeichert (Abbildung 6), die meistens lebenslang erhalten bleibt [9]. Durch jede erlebte Viruskrankheit oder durch eine Impfung haben wir ausreichend passende Handschuhe im Blut. Wir sind immun: Gelangt beispielsweise ein Masern- oder Corona-Virus in unseren Körper, so wird es sofort mit massenhaft ausgeschütteten, passenden Antikörpern unschädlich gemacht. Amerikanische Wissenschaftler/-innen haben experimentell berechnet, dass unser Immunsystem durch genetische Rekombinationen bis zu unglaublichen 18 Milliarden verschiedene Antikörper herstellen kann [10]. Diese große Vielfalt beruht auf der hohen genetischen Variabilität und Kombierbarkeit der Antikörpergene [11].

4. Killerzellen: Spiel mir das Lied vom Tod

Killerzellen (cytotoxische T-Zellen) sind die „James Bonds“ der Immunabwehr mit der Lizenz zu töten. Ihr Name ist Programm, und mit ihrer Hilfe wird in der Regel jede virusinfizierte Zelle erkannt und abgetötet. Dabei „schießen“ die Killerzellen mit Hilfe von Perforin Löcher

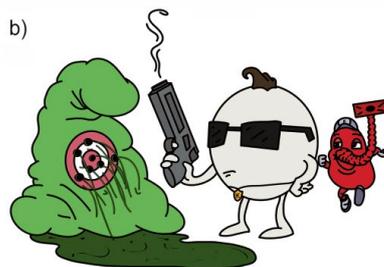
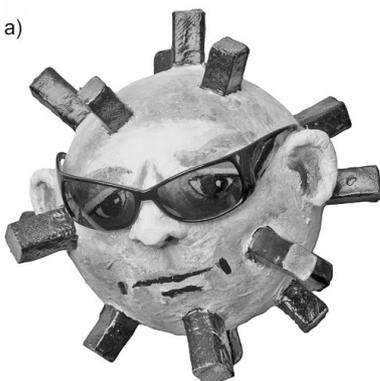


ABB. 7 Modell einer Killerzelle. **a) Mit Pappmaché versteifte und Farbe modifizierte Styroporkugel (Durchmesser: 30 cm). b) Killerzelle als Comic-Version.**



ABB. 6 Gedächtniszelle als Comic-Version.

in die befallenen Zellen, die anschließend mittels Serinproteasen als „Projektile“ durch eingeleitete Selbsttötung (Apoptose) absterben [12]. Ein Modell aus einer mit Pappmaché umformten und bemalten Styroporkugel ist in Abbildung 7a dargestellt. Killerzellen bringen köpereigene Zellen, sozusagen ihre eigenen Artgenossen, um. Dies tun sie aber immer im Sinne des Gemeinwohls nach dem Motto: Es ist besser, wenn einige wenige Zellen sterben, dafür aber die Gesamtheit der Körperzellen überlebt, zumal abgetötete Zellen in der Regel schnell wieder ersetzt werden. Fresszellen „saugen“ schließlich die toten Überreste „auf“ (Abbildung 7b).

5. T-Helferzellen: Die Einsatzleitung

Die sogenannten T-Helferzellen spielen die wichtigste Rolle in der gesamten Immunabwehr [12]. Sie fungieren als Kommandozentrale, als Koordinationsleitstelle – sie sind das „Pentagon“ der Immunantwort (Abbildung 8a). Auch ihr Name ist Programm. Ohne die Mithilfe der T-Helferzellen passiert nämlich rein gar nichts. Sowohl die antikörperproduzierenden B-Zellen als auch die Killerzellen müssen sich vorab von Helferzellen ein „OK“ geben lassen, bevor sie loslegen. Also: Wenn eine B-Zelle den passenden Handschuh gegen einen Erreger parat hat und ganz wild darauf ist, diesen millionenfach zu kopieren, dockt sie erst einmal an einer T-Helferzelle an und hält Rücksprache. Sagt die Helferzelle „Ja“ zum Vorhaben, kann die B-Zelle sich zigfach teilen und Millionen Antikörper ins Blut ausschütten. Wenn eine Killerzelle eine virusinfizierte Zelle aufgespürt hat und sie terminieren will, muss auch sie zunächst mit einer T-Helferzelle Rücksprache halten. Wieder muss die Helferzelle ihr „OK“ geben, bevor die Killerzelle ihre tödlichen Schüsse abgeben kann. Diese Art von interner Rückkopplung und Koordination soll vor allem verhindern, dass die überaus mächtige und effiziente Immunabwehr unkontrolliert aus dem Ruder läuft.

Besonders tückisch ist das Humane Immundefizienz-Virus (HIV), das ausgerechnet die T-Helferzellen und damit das Herz der Immunabwehr infiziert [13] (Abbildung 8b). Bei einer HIV-Infektion wird daher regelmäßig die Anzahl der CD4-Zellen, zu denen die T-Helfer-

zellen gehören, gemessen und kontrolliert. Ihr Niedergang bildet 1:1 den (verheerenden) Verlauf der Infektion ab.

Virusmutationen: Mit einem Handmodell leicht erklärt

Mit dem Hand-Handschuh-Modell lassen sich auch die Folgen einer Virusmutation sehr anschaulich verdeutlichen. Dazu benötigt man eine bewegliche Holzhand, wie sie typischerweise für Malstudien eingesetzt wird (Internet, 18 cm Höhe, ab 8,50 Euro). Angenommen, diese Form der Holzhand entspricht den Händen des aktuellen Corona-Virus SARS-CoV-2 (Abbildung 9a). Passende Handschuhe werden von B-Zellen produziert und machen das Virus unschädlich (Abbildung 9b). Eine für das Virus günstige Mutation bedeutet, dass sich die Form ihrer Hände ändert; beispielsweise spreizen sich einzelne Finger, rollen sich ein oder krümmen sich (Abbildung 10a-e). Dadurch passen die Handschuhe nicht mehr richtig auf die Hände (Abbildung 10f). Selbst wenn sich nur der kleine Finger etwas krümmt oder sich ein Finger geringfügig ändert, passt der maßgeschneiderte Handschuh nicht mehr, so dass das mutierte Virus der Immunabwehr entkommt.

Coronatests mit dem Hand-Handschuh-Modell veranschaulichen

Bei einem Antikörpertest sucht man nach Antikörpern im Blut, also nach den passenden Fausthandschuhen, die durch eine Infektion von den B-Zellen produziert werden. Beispiel Corona-Viren: Dazu sind die Hände (Spike-Proteine) auf der Testplatte bzw. im Probenröhrchen chemisch fest verankert. Als Modell werden drei Schaufensterpuppenhände (Internet, Höhe: 26 cm, Basisbreite: 7 cm, rund 10 Euro) auf eine Holzplatte montiert (Abbildung 11a). Wird nun eine Blutprobe auf die Testplatte gegeben, sollen die Virus-Hände die passenden Handschuhe aus dem Blut herausfischen. Die entsprechenden Fausthandschuhe binden sich fest an die Hände, während Handschuhe gegen andere Viren (oder Antigene) nicht passen und wieder abfallen (Abbildung 11b und c). Schließlich werden die gebundenen Handschuhe mit Hilfe eines Farbstoffmoleküls markiert – hier im Modell in Form von phosphoreszierenden Wäscheklammern, die mit nachleuchtender Farbe (Fa. Moedel) angemalt wurden (Abbildung 11d). Im Falle eines positiven Testergebnisses tritt entweder eine Farbe oder wie hier im Modell eine Leuchtreaktion auf (Abbildung 11e). Dieser Test macht übrigens erst Sinn, wenn die Infektion bereits einige Wochen zurückliegt, weil es eine gewisse Zeit braucht, bis eine nachweisbare Menge Handschuhe im Blut zirkuliert.

Bei einem Antigenest ist das Verfahren genau umgekehrt: Auf der Testplatte bzw. im Probenröhrchen befinden sich passende Handschuhe (Antikörper), die das Virus (Antigen) aus der Probe herausfischen, beispielsweise aus einem Nasenabstrich. Die in einer Lösung schwimmenden Handschuhe stülpen sich über die viralen Hände, binden somit das gesamte Virus fest an sich und werden mit Hilfe

eines Farbstoffmoleküls markiert. Im Falle eines positiven Tests erscheint eine Farbe, z. B. als Strich bei einem Schnelltest. Als Antigene werden nicht nur die Bauteile und Proteine von Mikroorganismen bezeichnet, sondern auch jegliche Stoffe, die der Körper als fremd erkennt.



ABB. 8 Modell von T-Helferzellen. a) T-Helferzellen als Comic-Version. b) T-Helferzelle (blau) trifft auf den Aids-Erreger HIV (rot). Die aufgespannte Mausefalle soll die Fusionseinheit des Oberflächenproteins gp120/41 darstellen, die bei Kontakt mit dem CD4-Zellrezeptor irreversibel zuschnappt. Aufgrund der besseren Sichtbarkeit sind die beiden Modelle im gleichen Größenverhältnis gebaut worden. In Wirklichkeit wäre das HI-Virus im Verhältnis deutlich kleiner – in etwa nur so groß wie eine kleine Holzperle.

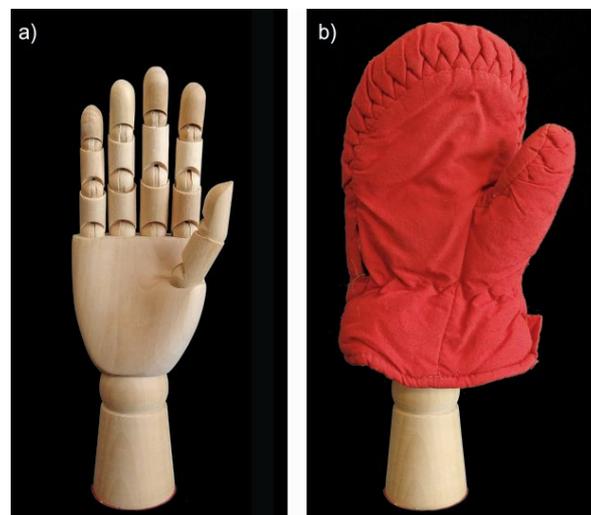
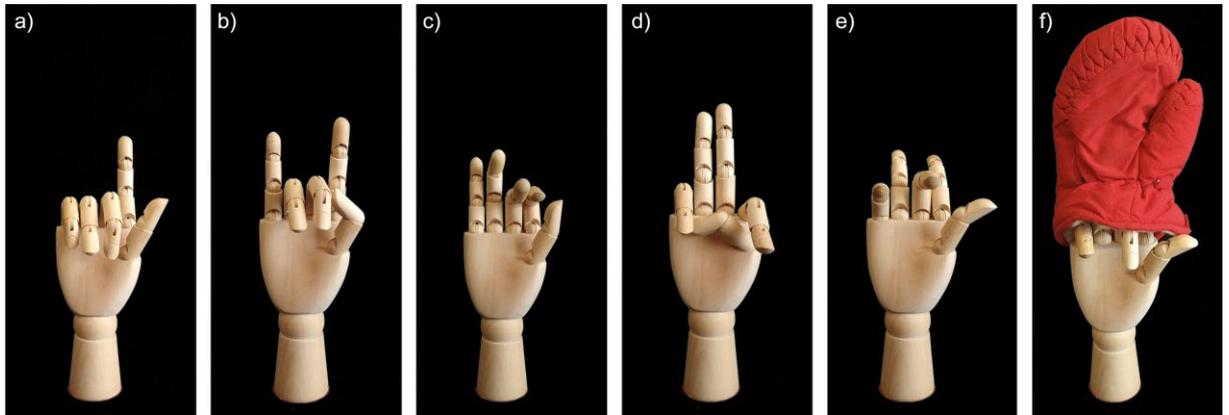


ABB. 9 Modell der Rezeptorbindung. a) Bewegliche Holzhand als Modell eines viralen Oberflächenproteins (Spike-Protein). b) Passender Handschuh (Antikörper) für die Hand (Spike-Protein) eines Virus.

ABB. 10 Fluchtmutationen der Oberflächenproteine. a–e) Verschiedene Mutationen verändern die Fingerstellung im Handmodell. f) Die zuvor passenden Handschuhe (Antikörper) passen nun nicht mehr.



Bei beiden Testarten heißt ein negatives Ergebnis, dass keine passenden Handschuhe bzw. keine Viren(-Hände) in der Probe vorhanden sind und sich somit auch die Farbmarkierung nicht anheften kann. Folglich bleibt eine Farb-reaktion aus.

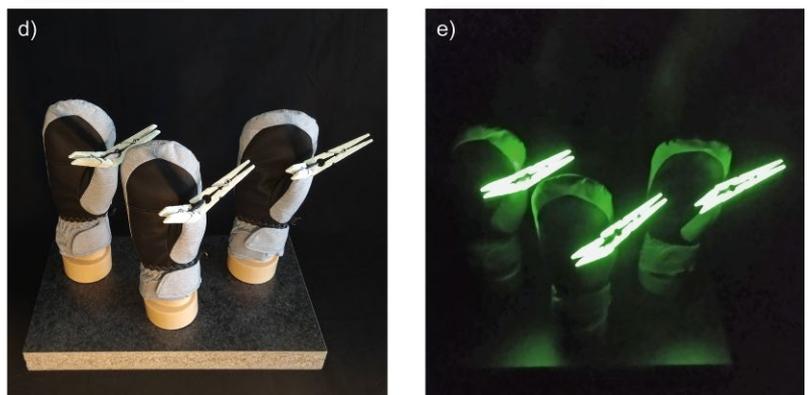
Fazit und Ausblick

Die anschaulichen, „vermenschlichten“ Zellmodelle und vor allem der Handschuhvergleich kommt bei Lernenden sowie Lehrenden sehr gut an und können im Unterricht ohne großen Aufwand oder Kosten interaktiv eingesetzt werden. Die Rückmeldungen nach meinen Shows untermauern meine Erfahrung, dass mit Hilfe anschaulicher, ungewöhn-

licher Modelle neben der Neugier auch das Verständnis signifikant erhöht wird. Ausgewählte Zitate von Schüler/-innen, Lehrkräften und Eltern aus E-Mails an mich nach Showaufführungen lauten beispielsweise: „restlos begeistert“, „unsere Kinder waren begeistert und wollen unbedingt mehr über die Naturwissenschaften erfahren“, „megamegamegacool“, „wirklich fantastisch“, „mit Witz und tollen Erklärungen“, „kindgerecht und erwachsenengerecht“, „Show hat meinen Schülern sehr gut gefallen“, „spannende und informative Show“. Diese Rückmeldungen sind sicherlich nicht streng repräsentativ, spiegeln aber eine allgemeine und altersübergreifende Begeisterung und damit eine positive Sichtweise auf die Naturwissenschaft wider.



ABB. 11 Coronatests im Hand-Handschuh-Modell. a) Die Schaufensterpuppenhände stellen die Spike-Proteine von SARS-CoV-2 dar, die auf der Antikörper-Testplatte fixiert werden. b) Passende Antikörper (graue Handschuhe) aus einer Blutprobe stülpen sich über die Hände. Andere Antikörper, beispielsweise gegen Masern- und Grippe-Viren (blauer und roter Handschuh), passen nicht und können sich daher nicht an die Hände binden. c) Nach kurzer Zeit sind alle viralen Hände des Tests mit passenden Handschuhen (grau) fest verbunden. d) Markierung der gebundenen Handschuhe mit Farbstoffmolekülen (phosphoreszierende Wäscheklammern, die mit nachleuchtender Farbe angemalt wurden). e) Positives Testergebnis: Der Farbstoff leuchtet und wird sichtbar.



Das auf www.biuz.de online abrufbare Arbeitsblatt (inklusive Lösungsvorschlag) bietet Lehrenden die Möglichkeit einer comicartigen Betrachtung des Immunsystems im Unterricht. Beim Thema Antikörper könnten die Schüler/-innen aufgefordert werden, von zu Hause Fausthandschuhe unterschiedlicher Größe in den Unterricht mitzubringen. Die Hände einiger Schüler/-innen dienen dann als virale Proteine. Mit dieser Interaktion kann man die prinzipielle Funktion von Antikörpern verständlich vermitteln. Mit Hilfe einer beweglichen Holzhand können Mutationen und die Schnelltests erklärt werden. Der Bau von Zellmodellen könnte in Zusammenarbeit mit dem Werk- oder Kunstunterricht realisiert werden.

Zusammenfassung

Die humorale und zelluläre Immunantwort bei einer Infektion ist hoch komplex. Mit selbstgebauten und ansprechenden Modellen werden die wesentlichen Grundzüge der Immunabwehr Lernenden ab der 7. Klasse und wissenschaftlichen Laien anschaulich und verständlich kommuniziert. Die drei wichtigsten Zellen der Immunabwehr – B-Zelle, Killerzelle und Helferzelle – kommen als comicartige Modelle aus Styroporkugeln und Pappmaché zum Einsatz. Ein umgestalteter Staubsauger dient als Modell für Fresszellen (Makrophagen), Hände fungieren als Antigene und unterschiedlich große Fausthandschuhe stellen Antikörper dar. Mit Hilfe einer beweglichen Holzhand werden Mutationen der viralen Oberflächenproteine veranschaulicht. Wie ein Antikörper- und ein Antigentest im Prinzip funktionieren, verdeutlichen auf einer Holzplatte montierte Schaufensterpuppenhände, Fausthandschuhe und leuchtende Wäscheklammern.

Summary

With vacuum cleaners and gloves against viruses

The humoral and cellular immune response to an infection is highly complex. With the help of self-made and appealing models, the essential characteristics of the immune defense are imparted in a clear and comprehensible way to learners from the 7th grade onwards and to scientifically interested laymen. The three most important cells of the immune defense system – B cells, killer cells and T helper cells – are used as comic-like models made of styrofoam balls and papier-mâché. A modified vacuum cleaner serves as model for scavenger cells (macrophages), hands function as antigens and mittens of different sizes represent antibodies. With the help of a flexible wooden hand, mutations of viral surface proteins are made clear. How an antibody and an antigen test work in principle is demonstrated by hands of shop window mannequins fastened on to a wooden board, mittens and luminous clothes pegs.

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Melvin Müller für die Erstellung der Grafiken sowie der Comic-Illustrationen.

Schlagworte:

Immunabwehr, Immunzellen, Antikörper, Antigene, Biologieunterricht, Modelle.

Literatur

- [1] <https://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/BIO/IK/7-8/02/05>, (abgerufen am 16.02.2022)
- [2] <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/mittelschule/8/nt/mittlere-reife-klasse> (abgerufen am 16.02.2022)
- [3] <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/realschule/8/biologie> (abgerufen am 16.02.2022)
- [4] J. M. Berg, J. L. Tymoczko, G. J. Gatto, L. Stryer (2018). Biochemie. Springer Spektrum Verlag, Heidelberg, 1165–1199.
- [5] B. Bröker, C. Schütt, B. Fleischer (2019). Grundwissen Immunologie. Springer Spektrum Verlag, Heidelberg, 4–6.
- [6] S. Modrow, D. Falke, U. Truyen, H. Schätzl (2010). Molekulare Virologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- [7] J. M. Berg, J. L. Tymoczko, G. J. Gatto, L. Stryer (2018). Biochemie. Springer Spektrum Verlag, Heidelberg, 1170–1182.
- [8] H. Engelhardt (2020). Wieviele Mikrobenarten gibt es? Biol. unserer Zeit 50, 450–451.
- [9] B. Bröker, C. Schütt, B. Fleischer (2019). Grundwissen Immunologie. Springer Spektrum Verlag, Heidelberg, 102–105.
- [10] S. Tonegawa (1983). Somatic generation of antibody diversity. Nature 302, 575–581.
- [11] P. Leder (1982). The Genetics of Antibody Diversity. Scientific American 246, 102–115.
- [12] J. M. Berg, J. L. Tymoczko, G. J. Gatto, L. Stryer (2018). Biochemie. Springer Spektrum Verlag, Heidelberg, 1186–1187.
- [13] A. Korn-Müller (2012). Da stimmt die Chemie. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 73–79.

Zusatzmaterial

Das Arbeitsblatt inklusive Lösungen haben wir unter www.biuz.de zum Download für Sie bereitgestellt: Unter dem entsprechenden Artikel finden Sie es als separates PDF-Dokument.

Der Autor:



Andreas Korn-Müller studierte in Tübingen Chemie und promovierte 1994 am MPI für Biochemie in Martinsried. Nach einer zweijährigen Post-Doc-Forschung im HIV-Hochsicherheitslabor der LMU München arbeitet er seit 1997 freiberuflich auf dem Gebiet der „Wissenschaftsvermittlung“. Neben diversen Ausstellungen an Museen hat Dr. Korn-Müller bisher acht verschiedene Wissenschafts-Shows entwickelt, die er unter dem Künstlernamen „Magic Andy“ weltweit vor allem auf Science Festivals für Jung und Alt erfolgreich aufführt. Bisher hat er vier (Kinder-) Sachbücher geschrieben.

Korrespondenz

Dr. Andreas Korn-Müller
science comedy
Winterbergstr. 6c
01277 Dresden
E-Mail: show@science-comedy.com



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

