

Dr. James DiNicolantonio
Siim Land

Entzündungen,
Autoimmun- und
chronische Krankheiten
bekämpfen,
Krebs vorbeugen.



Der

Warum das Immunsystem

Immun

Ursache vieler Krankheiten ist.

Guide

Wie man es heilt.

millemari.

Dr. James DiNicolantonio Siim Land

Der

Warum das Immunsystem

Immun

Ursache vieler Krankheiten ist.

Guide

Wie man es heilt.

Inhalt

Über die Autoren
Einleitung

1. Lehren aus den Pandemien der Vergangenheit - Projektionen für die Zukunft
2. Wie unser Immunsystem funktioniert und warum es altert
3. Wie Immunsystem und Krebs zusammenhängen
4. Wie ein überaktives Immunsystem chronische Entzündungen und Autoimmunkrankheiten auslöst
5. Insulinresistenz und Immunsystem: Zucker runter - Immunsystem rauf
6. Die Sache mit dem Fett: Wie ein optimiertes Omega-3/6-Verhältnis ein überaktives Immunsystem beruhigen kann
7. Immuntraining mit Wärme und Kälte: dem Virus Feuer machen, den Zytokinsturm abkühlen
8. Ernährung für ein gesundes Immunsystem
9. Die Kraft der Nährstoffe
10. Intervallfasten, Autophagie und Immunoseneszenz: Wie sich Fasten auf das Immunsystem auswirkt
11. Sport und das Immunsystem. Was, wann und wieviel Sport?
12. Schlaf, die innere Uhr und das Immunsystem

Zum Schluss

Endnoten
Impressum

Über die Autoren

James DiNicolantonio, PharmD

Dr. James J. DiNicolantonio ist Doktor der Pharmazie und Forscher für Herz- und Gefäßkrankheiten. Seit Jahren beschäftigt er sich mit dem Thema Ernährung. Als angesehenener und international bekannter Wissenschaftler und Gesundheitsexperte hat er Veröffentlichungen zu gesundheitspolitischen und medizinischen Themen verfasst. Dr. DiNicolantonio ist Autor von drei Gesundheitsbestsellern: *The Salt Fix (Der Salz-Irrtum)*, *Superfuel (Superkraftstoff Fett)* und *The Longevity Solution*. Seine Website erreichen Sie unter: www.drjamesdinic.com, auf Instagram und Twitter findet man ihn unter *@drjamesdinic*, auf Facebook unter Dr. James DiNicolantonio.

Er hat mehr als 250 medizinische Publikationen vorzuweisen, darunter einige wichtige Aufsätze zum Thema Ernährung. Seine 2014 erschienene Publikation über Zuckersucht in der *New York Times* wurde innerhalb von 24 Stunden nach Veröffentlichung häufiger geteilt als jeder andere Artikel dieser Zeitung. Er hat vor dem kanadischen Senat über die Schädlichkeit von Zucker referiert und arbeitet als Associate Editor von *Open Heart*, einer britischen medizinischen Zeitschrift, die in Zusammenarbeit mit der British Cardiovascular Society herausgegeben wird. Er gehört zudem zum Herausgebergremium verschiedener weiterer medizinischer Zeitschriften.

Siim Land

Siim Land aus Estland ist Autor, Vortragsredner, Content Creator und Biohacker. Trotz seines jungen Alters gilt er als eine der wichtigsten Figuren in der Biohacking-Szene. Weltweit hat er Tausende Follower. Siim Land hat Bücher wie *Metabolic Autophagy* und *Stronger by Stress* publiziert. Im Web findet man ihn unter *siimland.com*, auf Instagram unter *@siimland* und auf YouTube mit dem Kanal *Siim Land*.

Siim fing an, sich intensiv mit Ernährung und Sport sowie anderen Biohacking-Strategien zu beschäftigen – auch in Form von Eigenexperimenten –, als er nach dem Schulabschluss für ein Jahr zum Militär ging. Danach machte er seinen Bachelor in Anthropologie an der Universität Tallinn und in Durham in Großbritannien. Inzwischen hat er weitere Bücher und Onlineartikel über Ernährung geschrieben und hält sich über den aktuellen Forschungsstand auf dem Laufenden.

Einleitung: Warum unser Immunsystem so wichtig ist

Nur wenige Dinge sind für die Gesundheit so wichtig wie das Immunsystem. Es schützt den Körper gegen Angriffe von außen und vor Schadstoffen, mit denen wir in Kontakt kommen könnten. Wenn das Immunsystem geschwächt ist, leiden Vitalität und Wohlbefinden. Und: Wer will schon dauernd krank sein?

Die meisten Menschen gehen davon aus, dass ein gesundes Immunsystem selbstverständlich ist. Erst die Pandemien der jüngeren Vergangenheit und Gegenwart zeigen, wie wichtig es ist, sich um sein Immunsystem zu kümmern. Viele Menschen leben heute zwar in einer semisterilen, industrialisierten Welt, in der sie nicht mehr so häufig mit Bakterien und Viren in Berührung kommen, aber sie sind dennoch Schadstoffen, Umweltgiften und Schwermetallen ausgesetzt. Die westliche Ernährung enthält viele raffinierte Kohlenhydrate, Zucker, Öl, künstliche Süßstoffe und andere hoch verarbeitete Inhaltsstoffe. Sie alle tragen zur Entstehung chronischer Krankheiten bei. Diese gestiegene Belastung im Zusammenspiel mit einem schwachen Stoffwechsel erhöht noch die Bedeutung, die ein starkes Immunsystem für uns hat.

Im Angesicht der jüngsten Pandemie, welche die Welt nach wie vor erschüttert, rückte unser menschliches Immunsystem in den Mittelpunkt des Interesses. Die Pandemie hat viele Schwächen der aktuellen Gesundheits- und Wirtschaftssysteme, aber auch unserer individuellen Gesundheit aufgedeckt. Doch dieser Weckruf ist auch dazu geeignet, das Denken über Ernährung, Bewegung und

Gesundheit im Allgemeinen zu verändern. Gegen unerwartete Ereignisse, die die Gesellschaft erschüttern, kann man nur wenig tun, aber jeder von uns kann für seinen eigenen Körper sorgen. Und das Mindeste, was wir tun können, ist eine Stärkung unseres körpereigenen Immunsystems und unserer Gesundheit und Fitness.

Dieses Buch liefert umfassende Informationen über die Funktionsweise des Immunsystems, über die Auswirkungen von Viren und Infektionen und über Strategien, die nachweislich dazu dienen können, unser Immunsystem zu stärken. Es verarbeitet neueste wissenschaftliche Erkenntnisse über die entscheidenden Faktoren, die dazu führen können, dass Menschen während eines Infektionsausbruchs und auch im ganz normalen Alltag gesund bleiben. Außerdem bietet es praktische Tipps und Hilfen, die die Widerstandsfähigkeit gegen Stress, die Regeneration, die Gesundheit von Stoffwechsel, Herz und Gefäßen und ganz allgemein die Lebensqualität verbessern können.

Dabei wirft der „Immun Guide“ einen objektiven Blick auf die bisher bekannten Methoden und erläutert den aktuellen Forschungsstand. Neue Biohacking-Techniken ergänzen dieses Buch und machen es zu einem wertvollen Begleiter. Es soll Ihnen Wege zeigen, Ihr Immunsystem zu stärken, auf Erkrankungen richtig zu reagieren und Ihre Gesundheit und Vitalität zu verbessern.

Das erwartet Sie in diesem Buch

- Die **Einleitung** liefert einen kurzen Überblick über die Bedeutung des Immunsystems.
- **Kapitel 1** berichtet zunächst von den größten und wichtigsten Pandemien der Menschheitsgeschichte – darunter die Spanische Grippe, die gegen Ende des

Ersten Weltkriegs grassierte - und wagt einige Zukunftsprojektionen.

- **Kapitel 2** steigt ins Grundlagenwissen zum Immunsystem ein. Es beschreibt seine Funktion, die verschiedenen Teilbereiche und analysiert mögliche Gründe für Störungen.
- **Kapitel 3** diskutiert die Verbindung zwischen Immunsystem und Krebserkrankungen. Es beschreibt, warum Immundefizite die Entwicklung bösartiger Tumoren fördern, und nennt Möglichkeiten, das Immunsystem zu stärken.
- **Kapitel 4** analysiert die Verbindung zwischen Entzündungsreaktionen, auftretenden Störungen im Immunsystem und Autoimmunerkrankungen.
- **Kapitel 5** konzentriert sich auf das Metabolische Syndrom, Insulinresistenz (Prä-Diabetes) und den Zusammenhang zwischen diesen Störungen und dem Immunsystem. Welche Auswirkungen hat der Zustand des Stoffwechsels auf das Immunsystem - und was können wir selbst dazu tun?
- **Kapitel 6** beschäftigt sich mit dem Thema Fett als Ursache für Entzündungen und chronische Krankheiten. Hier geht es u.a. um das richtige Verhältnis zwischen Omega-6- und Omega-3-Fettsäuren, um Entzündungen zu lindern und ein überaktives Immunsystem zu beruhigen.
- **Kapitel 7** führt das Konzept der Hormese ein, das besagt: Eine kleine Menge Stress hat positive Auswirkungen im Körper. In diesem Kapitel geht es auch um Wärme- und Kältetherapien, die das Immunsystem stärken können.
- **Kapitel 8** stellt eine immungesunde Ernährungsweise vor. Wir informieren, welche Nährstoffe unser Immunsystem braucht, welche Lebensmittel es stärken oder ganz im Gegenteil schwächen.

- **Kapitel 9** berichtet von der Kraft der Nährstoffe und Nahrungsergänzungsmittel. Zwar sollte der Großteil der Nährstoffe aus einer vollwertigen Ernährung stammen, aber es gibt durchaus nützliche und notwendige Nahrungsergänzungsmittel, die weitverbreitete Defizite beheben können.
- **Kapitel 10** beschreibt eine spezielle Methode, um hormetischen Stress aufzulösen: das Intervallfasten. Wir zeigen, warum einige Aspekte eines zeitlich begrenzten Essens eine wirksame Strategie zur Stärkung des Immunsystems sein können.
- **Kapitel 11** beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen Bewegung und Immunsystem. Es erklärt, wie viel Sport gut ist und wann er schädlich wird. Außerdem beschreiben wir Möglichkeiten, durch Krafttraining die Alterung des Immunsystems zu verlangsamen und das Auftreten des Metabolischen Syndroms zu verhindern.
- In **Kapitel 12** schließlich geht es um Schlaf und Erholung. Wir betrachten den Zusammenhang von Schlaf und Schlaf-Wach-Rhythmus einerseits und Immunsystem andererseits und wir loten Methoden aus, mit denen Sie Ihre Schlafqualität verbessern können.

Wir wollen klarmachen, wie stark alle Systeme des Körpers untereinander verbunden und voneinander abhängig sind. Dazu gehören unter anderem das Immunsystem, der Stoffwechsel und der Schlaf-Wach-Rhythmus. Deshalb ist es notwendig, sich auf eine Stärkung der Gesamtgesundheit zu konzentrieren, statt zu denken, dass bereits ein bestimmtes Nahrungsergänzungsmittel oder ein Medikament Heilung bringen könnte.

Wir behaupten nicht, dass wir Lösungen oder Behandlungsmethoden für die kontroversen Themen im Ärmel haben, um die es in diesem Buch geht - Krebs,

Autoimmunkrankheiten, Covid-19 und andere. Was wir bieten können, ist ein evidenzbasierter, naturwissenschaftlich orientierter Überblick zum Wesen dieser Krankheiten. Wir wollen zeigen, welche Mechanismen dabei eine Rolle spielen und wie das Immunsystem gestärkt werden kann. Dabei bemühen wir uns, vorurteilsfrei und auf der Höhe der Forschung zu sein. Wir möchten einen Lebensstil vorstellen, der helfen kann, sowohl das Immunsystem als auch den Stoffwechsel gesund und stark zu machen.

1

Lehren aus den Pandemien der Vergangenheit - Projektionen für die Zukunft

Seit Hunderttausenden von Jahren leben Menschen in der Natur und sind Schadstoffen, Bakterien, Viren und Infektionen ausgesetzt. Ihre Nahrung bestand aus dem, was der Boden hergab, und rohem Fleisch von getöteten Tieren. Es gab praktisch keine Hygienemaßnahmen, wenn man davon absieht, dass Menschen sich ab und zu das Gesicht wuschen oder in einem Fluss, See oder Meer schwammen. Das Leben in einer solchen Umgebung setzt ein sehr robustes Immunsystem voraus. Tatsächlich war auch die Lebenserwartung deutlich kürzer; trotzdem ist unbestreitbar, dass es unserer Spezies trotz aller lauenden Gefahren gelungen ist, zu überleben.

Nach der sogenannten neolithischen Revolution vor etwa 10.000 Jahren, dem Übergang von Jäger- und Sammlergesellschaften zu Ackerbau und Viehzucht, nahmen ansteckende Krankheiten zu. Die Menschen lebten jetzt in engem Kontakt mit ihren Tieren, sodass Übertragungen von Krankheitskeimen von Tieren auf den Menschen leichter möglich wurden. Und sie lebten nicht mehr als Nomaden, sondern in Dörfern und Städten, gemeinsam mit bald Tausenden anderer Menschen.

Krankheiten wie Influenza (Grippe), Tuberkulose, Malaria, Pocken und andere traten zu dieser Zeit zum ersten Mal auf. Epidemien innerhalb einzelner Länder wurden wahrscheinlicher und durch die Entwicklung von Staaten und Handelsrouten kam es auch bald zu den

ersten Pandemien. Einige der bekanntesten in historischer Zeit sollen hier erwähnt werden.

Die Pandemien der Vergangenheit

Die Pest in Athen 430 v. Chr.

Die erste nachgewiesene Pandemie grassierte während des Peloponnesischen Krieges zwischen Athen und Sparta. Sie nahm nicht in Griechenland ihren Ausgang, sondern kam über Afrika, Ägypten und Libyen nach Europa.¹ Nachdem sie den Athener Hafen Piräus erreicht hatte, starben fast zwei Drittel der Stadtbevölkerung. Den Aufzeichnungen des Historikers Thukydides zufolge begann die Krankheit im Kopf und bewegte sich durch den Körper, wo sie Fieber, Entzündungen, Husten, Erbrechen und einen wunden Hals bis hin zu Blutungen hervorrief.² Forscher dachten zunächst, es habe sich um einen Ausbruch der Beulenpest gehandelt; heute nimmt man an, diese Krankheit könnte Typhus, Pocken, Masern oder ein hämorrhagisches Fieber, vielleicht sogar ein Ebola-Ausbruch gewesen sein.³ Große soziale und wirtschaftliche Verwerfungen waren die Folge, Gesetze wurden verschärft und auch die Religion der Menschen wurde infrage gestellt. Später kam es noch zu zwei weiteren Ausbrüchen im Jahr 429 v. Chr. und im Winter 426/27 v. Chr.

Die Antoniuspest 165-180 n. Chr.

Auf dem Höhepunkt der Ausbreitung des Römischen Reiches brachten Soldaten, die von Feldzügen im Nahen Osten zurückkehrten, eine Krankheit mit, die an Pocken oder Masern erinnert.⁴ Sie wurde nach dem Kaiser Marcus Aurelius Antonius benannt. Man schätzt, dass etwa 5 Millionen Menschen daran starben, die

Sterblichkeitsrate lag bei etwa 25 Prozent.⁵ Im Laufe der darauffolgenden 15 Jahre kam es zu weiteren Ausbrüchen.

Die Justinianische Pest 540 n. Chr.

Das byzantinische Reich mit seiner Hauptstadt Konstantinopel wurde 541/42 n. Chr. von einer besonders tödlichen Pest getroffen, die bis 750 n. Chr. immer wieder auftauchte. Im Laufe dieser 200 Jahre sollen etwa 25 bis 100 Millionen Menschen gestorben sein; allerdings gelten diese Zahlen heute als überhöht.⁶ Einige Regionen verloren bis zur Hälfte ihrer Bevölkerung, andere nur 0,1 Prozent.⁷ Die Justinianische Pest wurde von demselben Erreger ausgelöst wie der „Schwarze Tod“: *Yersinia pestis*.⁸ Ähnliche Virenstämme fand man in den Grenzregionen von Kirgistan, Kasachstan und China, wo die Krankheit möglicherweise ihren Anfang nahm.⁹

Der Schwarze Tod 1347-1350

Die berüchtigtste und tödlichste nachgewiesene Pandemie in historischer Zeit kam Mitte des 14. Jahrhunderts nach Europa. Etwa 75 bis 200 Millionen Menschen starben, was 30 bis 60 Prozent der europäischen Gesamtbevölkerung entsprach.¹⁰ Das auslösende Bakterium *Yersinia Pestis* verursachte Beulenpest, Lungenpest und Pestsepsis.¹¹ Die Finger der Erkrankten verfärbten sich schwarz, die Lymphknoten schwellen an, es kam zu Fieber, eitrigem Ausschlag und blutigem Erbrechen. Die meisten Erkrankten starben innerhalb von acht Tagen.¹² Ohne eine Behandlung mit Antibiotika weist die Beulenpest eine Sterblichkeit von 50 Prozent auf, die Pestsepsis ist fast immer tödlich.¹³ Die Krankheit stammte vermutlich aus Zentral- oder Ostasien und gelangte über die Seidenstraße auf die Halbinsel Krim.¹⁴ Von dort aus brachten Flöhe und Ratten die Krankheit mit Handelsschiffen in alle Häfen des Mittelmeeres. Ein weiterer Ausbruch der Beulenpest, die

sogenannte Große Londoner Pest, trat 1665/66 auf und tötete 15 bis 20 Prozent der Londoner Bevölkerung, etwa 100.000 Menschen.¹⁵ Interessanterweise endete der Ausbruch mit dem großen Brand in London im September 1666.

Der Austausch von Krankheiten durch Kolumbus 1492

Als Christoph Kolumbus zusammen mit spanischen Truppen in der Karibik landete, brachten die Besatzungen der Schiffe europäische Krankheiten wie Pocken, Influenza, Masern, Mumps, Typhus und Keuchhusten mit.¹⁶ Da diese Krankheiten dort unbekannt waren und entsprechende Abwehrkräfte fehlten, rafften sie die Mehrheit der einheimischen Bevölkerung dahin. Bis zum Jahr 1600 sollen etwa 56 Millionen Menschen gestorben sein.¹⁷ In der Karibik war zu diesem Zeitpunkt nur noch 1 Prozent der einheimischen Bevölkerung am Leben, im restlichen Amerika betrug der Bevölkerungsrückgang bis 1650 zwischen 50 und 95 Prozent.¹⁸

Die erste Cholera-Pandemie 1817-1824

Cholera ist eine Infektionskrankheit, die sich in Durchfällen und einem schnellen, drastischen Verlust wichtiger Elektrolyte äußert. Sie muss sofort behandelt werden, indem man rehydrierende Salze und Flüssigkeit zuführt. Geschieht das nicht, beträgt die Sterblichkeitsrate etwa 50 Prozent.¹⁹ Die Krankheit wird durch das Bakterium *Vibrio cholerae* ausgelöst, das der Mensch durch kontaminiertes Trinkwasser oder Lebensmittel aufnimmt. Die erste Cholera-Pandemie begann in Indien und verbreitete sich nach Südostasien und in den Mittleren Osten. Britische Soldaten brachten sie mit nach Europa.

Die dritte Pest-Pandemie 1855

Im Jahr 1855 kam die Beulenpest noch einmal nach Europa. Sie begann in China und verbreitete sich über alle Kontinente. Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts starben etwa 12 Millionen Menschen daran.²⁰ Noch heute gibt es jedes Jahr einige Fälle, aber die Pandemie selbst wurde 1981 von der WHO als inaktiv eingestuft. Zu diesem Zeitpunkt war die Zahl der jährlichen Sterbefälle auf zweihundert gesunken.²¹

Die Spanische Grippe 1918-1920

Im Jahr 1918 erlebte die Welt eine der tödlichsten Pandemien in der Geschichte der Menschheit: die Spanische Grippe oder Vogelgrippe. Sie wütete 36 Monate bis ins Jahr 1920 und infizierte etwa 500 Millionen Menschen, was zu dieser Zeit einem Drittel der Weltbevölkerung entsprach. Die geschätzten Todeszahlen liegen zwischen 20 und 50 Millionen, einige Historiker sprechen sogar von bis zu 100 Millionen Toten.^{22,23} Die wahre Zahl der Infizierten und Toten werden wir nie erfahren, aber diese Zahlen legen die Vermutung nahe, dass die Sterblichkeitsrate bei denjenigen, die Symptome entwickelten, zwischen 4 und 10 Prozent lag (möglicherweise bis zu 20 Prozent). Heruntergerechnet auf die Zahl derer, die infiziert waren, waren das etwa 2,5 Prozent.²⁴ Fakt ist: Die Spanische Grippe tötete in 24 Monaten mehr Menschen als HIV in 24 Jahren.

Die hohe Sterblichkeitsrate der Spanischen Grippe hing mit den schlechten Lebensbedingungen der Menschen in dieser Zeit zusammen. Viele Länder waren in den Ersten Weltkrieg verwickelt, die Menschen waren schlecht ernährt, die Gesundheitssysteme überfordert. In den Leichenhallen bzw. ihren Korridoren wurden die Toten aufgestapelt wie Holz, weil man sie nicht so schnell beerdigen konnte. Die Soldaten, die in schlammigen Schützengräben dicht gedrängt lebten und praktisch

keinen Zugang zu Hygienemaßnahmen oder medizinischer Versorgung hatten, trugen zur hohen Sterblichkeit in ihrer Altersgruppe bei.

Das Virus kam übrigens nicht aus Spanien, wie der Name vermuten lässt. Die spanische Regierung war nur die erste, die von dem Ausbruch berichtete, da das Land kein Weltkriegsteilnehmer war.²⁵ Die Länder, die in den Krieg verwickelt waren, unterdrückten die Nachrichten über die Krankheit, um dem Gegner keine strategisch wichtigen Informationen zukommen zu lassen.

Im Laufe von zwei Jahren durchlief die Spanische Grippe drei Wellen, von denen die zweite die tödlichste war. Die erste Welle, die im Januar 1918 anrollte, ähnelte früheren Grippeepidemien. Die zweite war wesentlich schlimmer, auch wegen der Zustände in der Endphase des Stellungskrieges. Sie begann Ende August 1918 in Frankreich mit einer Mutation, die wesentlich tödlicher war als das Ausgangsvirus.

Diejenigen, die während der ersten Welle infiziert worden waren und überlebt hatten, zeigten eine höhere Immunität gegen die Mutation. In den Bevölkerungsteilen, die nicht infiziert gewesen waren, war die zweite Welle tödlicher. In beiden Fällen starben besonders viele junge, anscheinend gesunde Erwachsene, wohl auch aus dem Grund, weil ihr Immunsystem überreagierte.

Die dritte Welle begann im Januar 1919 und dauerte bis zum Juni desselben Jahres. Nachdem der Krieg im November 1918 beendet worden war, feierten und jubelten die Menschen in den Straßen und ignorierten alle Ratschläge zur körperlichen Distanz, die man bisher praktiziert hatte. Und so breitete sich die Infektion noch schneller aus. Diese dritte Welle war weniger schlimm als die zweite, aber immer noch tödlicher als die erste.

Ende 1919 lief die Pandemie aus, aber es gab noch bis Anfang des Jahres 1920 Todesfälle. Bis heute ist die

Herkunft des Virus unbekannt und wir wissen auch nicht, wie sich die tödlicheren Stämme entwickeln konnten.

Normalerweise neigen Influenzaviren dazu, bei einer Mutation weniger gefährlich zu werden – die gefährlicheren Stämme sterben aus. Doch das Virus tötete gleich zu Anfang viele besonders anfällige Menschen, sodass sich die Verbreitung verlangsamte. Wenn die Mehrheit einer Bevölkerung immun gegen ein Virus ist, findet es keine Opfer mehr, die es infizieren kann, und stirbt irgendwann aus. Doch es kann auch zu gefährlicheren Stämmen mutieren, sodass eine Immunität niemals eintritt.

Im Jahr 1920 waren die Menschen deutlich weniger mobil als heute. Das Fliegen steckte noch in den Kinderschuhen, in der Mehrheit reisten die Menschen mit dem Schiff, mit dem Zug, auf Fahrrädern und in Autos. Es gab also nicht so viel globale Migration, wenn man von den Soldaten absieht, die die Grippe wohl ursprünglich über den Globus verbreitet haben.

So wurde die Spanische Grippe behandelt

Die Spanische Grippe wurde durch das Virus mit der Bezeichnung H1N1-Influenza A ausgelöst, das vor allem bei jungen Erwachsenen eine hohe Sterblichkeitsrate bewirkte. Fast die Hälfte der Todesfälle traten im Alter zwischen 20 und 40 Jahren auf. Und die meisten dieser Todesfälle wurden durch einen sogenannten entzündlichen Zytokinsturm verursacht, mit dem der Körper auf die Infektion reagierte, sodass die Kranken zu einem Versagen der Atmung und zu Lungenentzündungen neigten.²⁶ Kleine Kinder und Erwachsene mittleren Alters starben seltener, weil ihr Immunsystem weniger heftig auf das Virus reagierte und ihre Lungen nicht so sehr durch einen Zytokinsturm geschädigt wurden.

Bereits Stunden nach der Infektion begannen die ersten Symptome: extreme Müdigkeit und Erschöpfung, hohes Fieber, Appetitlosigkeit, Kopfschmerzen, bei einigen verfärbte sich die Haut bläulich. Beim Husten erschien oft blutiger Schaum an Mund und Nase. Viele Opfer starben innerhalb von 24 Stunden nach Auftreten der ersten Symptome.²⁷

Die grundlegenden Strategien zur Kontrolle von Epidemien sind immer gleich: Eindämmung und Milderung. Zu Beginn eines Ausbruchs versucht man, die Ausbreitung eines Virus einzudämmen, indem man Kontakte nachverfolgt, die Infizierten isoliert und durch das öffentliche Gesundheitswesen entsprechend reagiert.²⁸ Die Phase der Milderung tritt ein, wenn es unmöglich erscheint, den Anstieg der Fallzahlen einzudämmen. In diesem Fall konzentriert man sich darauf, die Ausbreitung zu verlangsamen und die gesellschaftlichen Folgen abzufedern. Dabei geht es vor allem darum, die Kurve abzuflachen, sodass das Gesundheitssystem nicht überfordert wird.²⁹ Nicht-pharmazeutische Interventionen – Gesichtsmasken, Handhygiene, Social Distancing – werden in Kraft gesetzt. Man verbietet Menschenansammlungen und Großveranstaltungen und schließt öffentliche Einrichtungen (z.B. Schulen). Das Ziel lautet, die Zahl der Kontakte zu Menschen, die das Virus oder Bakterium in sich tragen, zu verringern.

Louis Pasteur, einer der Begründer der Bakteriologie und „Vater der Mikrobiologie“³⁰, entdeckte in den 1860er-Jahren, dass bestimmte Bakterien in der Lage waren, Getränke zu verderben und bei Mensch und Tier Krankheiten auszulösen. Er entwickelte das Verfahren der Pasteurisation, bei der eine Flüssigkeit, z.B. Milch, auf 60 bis 100 Grad erhitzt wird, um alle lebenden Organismen darin abzutöten. Seine Entdeckungen wurden von Joseph Lister weitergeführt, der die Desinfektion und

antiseptisches Arbeiten bei Operationen entwickelte.^{31,32} In jener Zeit starben viele Menschen bei Operationen, weil es zu Infektionen kam. Leider glaubten viele von Listers Kollegen zunächst nicht an seine Theorie. Schließlich konnte er jedoch beweisen, dass die Benutzung antiseptischer Instrumente bei Operationen die Zahl der Infektionen senkte und die Erholung der Patienten beschleunigte.³³ Im Jahr 2012, anlässlich des 100. Todestages von Lister, ernannte man ihn zum „Vater der modernen Chirurgie“.³⁴

Im Jahr 1918 hatte sich die Theorie von den Keimen als Ursache von Krankheiten – die Vorstellung also, dass bestimmte Mikroorganismen oder Keime Krankheiten hervorrufen können – gerade erst durchgesetzt. Man nutzte verschiedene Behandlungsmethoden gegen Krankheitserreger: Antitoxine, Aderlass und das noch recht junge Mittel der Impfung (1798 war die erste Pockenimpfung entwickelt worden). Aber keine dieser Methoden wirkte besonders gut, wenn man von einigen Impfungen gegen kaum mutierende Viren absah.³⁵ Die wirksamste Therapie bestand in der Transfusion von Blutplasma. Wenn man Patienten mit einem schweren Krankheitsverlauf eine Infusion mit Blut oder Plasma von Menschen verabreichte, welche die Krankheit durchgemacht hatten, reduzierte sich die Sterblichkeitsrate um die Hälfte.³⁶ Bei vielen Infektionen entwickeln Menschen, die die Krankheit überleben, Antikörper gegen das Virus und sind deshalb praktisch immun, zumindest für eine gewisse Zeit und gegen den speziellen Virenstamm. Dieselbe Idee liegt auch dem Impfen zugrunde.

Doch aufgrund der hohen Fallzahlen mussten sich viele medizinische Einrichtungen während der Spanischen Grippe auf einfache Behandlungsmethoden beschränken und hoffen, dass die Opfer die Krankheit aus eigener Kraft

überstanden. In Boston, Massachusetts, blieben viele Pflegekräfte und Kranke von den schlimmsten Auswirkungen verschont, weil man die Behandlung an der frischen Luft durchführte - in Schulen, Hallen, auf Schiffen und in großen Privathäusern.³⁷ Diese Outdoor-Krankenhäuser setzten auf „jede Menge Sonnenlicht und frische Luft bei Tag und bei Nacht“.³⁸ Von 5100 Seeleuten auf Schiffen im Osten der Stadt infizierten sich 1200 mit der Spanischen Grippe.³⁹ Diejenigen, die sich in schlecht gelüfteten Teilen des Schiffs aufhielten, zeigten die meisten Fälle von schwerer Lungenentzündung. Von den 154 Pflegekräften wurden nur sechs Schwestern und zwei Pfleger infiziert. In fünf Fällen fand die Ansteckung außerhalb der Arbeit statt.

Frische Luft, Sonnenlicht und gute persönliche Hygiene schienen die Sterblichkeit stark zu reduzieren. Diese Praxis der Freiluftmedizin wurde von einem englischen Arzt ins Leben gerufen: John Coakley Lettsom (1744-1815), der tuberkulosekranke Kinder mit Seeluft und Sonnenlicht behandelte.⁴⁰ Tatsächlich haben Vitamin D und UV-Licht ebenso wie Sauerstoff eine antivirale und antibakterielle Wirkung und bauen das Immunsystem auf.⁴¹ Rachitis, eine Kinderkrankheit, die durch Vitamin-D-Mangel entsteht, wird mit Atemwegsinfektionen in Verbindung gebracht und ein niedriger Vitamin-D-Spiegel scheint das Risiko zu erhöhen, sich mit Influenza anzustecken.⁴² Laborexperimente haben gezeigt, dass die UV-Strahlung das Influenzavirus und andere Krankheitserreger inaktiviert⁴³ und viele Bakterien abtötet. Außerdem weiß man, dass Sonnenlicht bei der Heilung infizierter Kriegsverletzungen hilft und diese Heilung auch beschleunigt.⁴⁴ Und es gibt sogar Hinweise darauf, dass Patienten nach einem Herzinfarkt eher überleben, wenn sie Sonnenlicht bekommen.⁴⁵ Mit anderen

Worten: Sonnenlicht ist möglicherweise gut fürs Herz und für das Immunsystem.

Die antivirale Wirkung von frischer Luft wurde in der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg von dem Arzt Sir Leonard Hill weiter erforscht. Im Jahr 1919 schrieb er im *British Medical Journal* darüber, dass tiefes Einatmen von kühler Luft und Schlafen unter freiem Himmel die besten Mittel gegen eine Influenza-Infektion seien und dass die Sonne sich heilend bei Tuberkulose auswirke.⁴⁶ Tatsächlich wirkt frische Luft sterilisierend selbst auf kleinste virale Partikel.⁴⁷ Wie viel Frischluftzufuhr nötig ist, um Infektionskrankheiten zu verhindern, ist nicht bekannt, aber man geht davon aus, dass die Dosis wesentlich höher sein müsste als heutzutage in Krankenhäusern, Schulen und Büros üblich.⁴⁸

Was uns die Pandemien des 21. Jahrhunderts lehren

In der Menschheitsgeschichte sind Pandemien regelmäßig aufgetreten und so wird es auch in der Zukunft sein. Im Jahr 2020 wurde die Welt von dem Ausbruch des neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2 getroffen, das COVID-19 verursacht. Da Menschen diesem speziellen Coronavirus bisher nicht ausgesetzt waren, gab es anfangs noch keine akkuraten Daten über seine Virulenz, Tödlichkeit und die möglichen Langzeitfolgen der Erkrankung. Wir wissen aber jetzt, dass hauptsächlich Menschen mit Stoffwechselerkrankungen und Ältere an SARS-CoV-2 sterben. Auf die Gesamtbevölkerung bezogen liegt die Sterblichkeitsrate derjenigen, die erkranken, bei etwa 3 Prozent⁴⁹ (2,86 Prozent in den USA).⁵⁰ Die tatsächliche Sterblichkeit liegt niedriger, da viele

Menschen die Krankheit ohne Symptome überstehen. Nach Auskunft der WHO waren Ende September 2020 mehr als 33 Millionen Menschen weltweit infiziert; etwa 1 Million war gestorben. Ende März 2021 waren es bereits 128 Millionen Menschen und mehr als 2,8 Millionen Tote.

Der erste virulente Ausbruch eines Coronavirus war SARS 2003 mit etwa 8.000 Infizierten und 774 Toten (das entspricht einer Sterblichkeit von fast 10 Prozent). Man vermutet, dass die Krankheit in China von Fledermäusen auf die Zibetkatze übertragen wurde und von ihr auf Menschen. Eine weitere Corona-Epidemie namens MERS (Middle East Respiratory Syndrome) begann 2012 in Saudi-Arabien und wurde von Kamelen übertragen. Bis 2020 gab es 2500 Fälle mit 866 Toten (Sterblichkeit der Erkrankten: etwa 35 Prozent). Und schließlich gab es Ebola, eine Krankheit, die seit 1976 im südlichen Afrika auftritt. Bis 2016 registrierte die WHO 28.000 Infektionen und 11.000 Tote (Sterblichkeitsrate knapp 40 Prozent). Die Zahlen liegen deutlich niedriger als bei den Seuchen und Pandemien früherer Jahrhunderte. Doch die derzeitige SARS-COV-2-Situation erinnert uns daran, dass wir uns als Individuen und als Gesellschaften nicht auf unseren Lorbeeren ausruhen dürfen. Denn Tatsache ist: Die Welt ist viel stärker vernetzt als in der Vergangenheit. Menschen reisen mehr und schneller. Eine Pandemie kann innerhalb eines Tages ihren Anfang nehmen.

Anders als die Spanische Grippe trifft COVID-19 vielfach Alte und Menschen mit Vorerkrankungen und ist auch nicht in gleichem Maße ansteckend. Jeder Tote ein Grund zur Trauer, doch die Zahlen sind nicht mit denen der Spanischen Grippe 1918/19 vergleichbar. Viele Menschen, die sich mit der Spanischen Grippe infizierten, starben innerhalb weniger Stunden oder Tage. Die meisten Sterbefälle mit COVID-19 treten nach zwei bis drei Wochen auf.

Soweit wir derzeit wissen, sind ältere Menschen, Menschen mit eingeschränktem Immunsystem und Menschen mit Vorerkrankungen wie Diabetes, Bluthochdruck, Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankung, Leberschädigungen und Fettleibigkeit im Zusammenhang mit COVID-19 besonders gefährdet.⁵¹ Die meisten dieser Risikofaktoren sind vermeidbar und die Folge eines ungesunden Lebensstils. Jedes verlorene Leben ist eine Tragödie, doch gleichzeitig erinnert es uns daran, dass der wichtigste Schutz gegen eine Virusinfektion gleich welcher Art ein gesunder Stoffwechsel ist – und ein robustes Immunsystem. Wir können nicht verhindern, dass ein neuartiges Virus am anderen Ende der Welt auftaucht und sich ausbreitet. Die eigene Gesundheit und den Status unseres Immunsystems jedoch haben wir zumindest ein Stück weit in der Hand. Das Leben in einer westlich geprägten Gesellschaft führt allzu leicht zu einer Illusion der Sicherheit – als könnte alles ein gutes Ende nehmen. Leider funktioniert die Natur nicht so, und wenn wir Pandemien überleben wollen, dann müssen wir uns nach besten Kräften darum bemühen, unsere Gesamtgesundheit zu stärken.

Die Pandemien der Vergangenheit bringen eine ganze Reihe von Lektionen mit, aus denen wir lernen können. Viren verändern sich und mutieren und unsere medizinische Herangehensweise muss sich darauf einstellen. Doch letztlich folgen die Ausbrüche immer einem ähnlichen Muster, vor allem was das Wesen des Menschen und die Reaktion der Gesellschaft angeht.

- **Pandemien kommen in Wellen.** Fast alle Seuchen und Ausbrüche treffen uns mehr als einmal. Offenbar gehört das zum Charakter von Viren, die sich ständig mit uns gemeinsam entwickeln. Alle paar Jahrhunderte gab es drei große Seuchenausbrüche

und der Gedanke, dass es bis heute immer noch ein paar Dutzend Fälle der Beulenpest gibt, kann einem wirklich Angst einjagen.⁵² Die Spanische Grippe dauerte etwa zwei Jahre mit mehreren Wellen, die Antoniuspest brauchte 15 Jahre, um abzuflauen. Trotzdem lebten die Menschen irgendwie weiter und kamen damit zurecht. Wir wissen nicht, wie viele Wellen eine Pandemie haben oder wie lange sie andauern wird. Deshalb ist es besonders wichtig, proaktiv zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen zu treffen.

- **Möglicherweise gibt es keinen Impfstoff.** Wir haben bis heute keinen Impfstoff, der gegen die Spanische Grippe wirkt, und auch bei einem Impfstoff gegen die früheren Coronaviren dauert die Entwicklung teils noch an. Dasselbe gilt für die Beulenpest und selbst der Grippeimpfstoff, der uns zur Verfügung steht, passt nicht immer zu den aktiven Virenstämmen des betreffenden Jahres. Impfstoffe gegen RNA-Viren funktionieren nicht besonders gut, weil die Viren sich ständig verändern. Das heißt nicht, dass Impfstoffe nicht wirken, auch wenn es über ihre Effizienz durchaus Diskussionen gibt. Aber sie sind kein Allheilmittel und es kann Rückschläge geben. Es kann sogar sein, dass sie gerade bei denjenigen, die sie am meisten nötig haben, nicht optimal wirken.^{53,54,55} Trotzdem sind die Erfolge in der Impfstoffentwicklung gegen SARS-CoV-2 mehr als vielversprechend und bedeuten Rettung für unzählige Leben.

Man könnte sagen, dass die Menschheit bisher einigermaßen Glück gehabt hat. Immerhin haben wir über Hunderttausende Jahre hin den Angriffen von Infektionen, Seuchen und Viren getrotzt. Das ist nicht nur Glücksache. Der menschliche Körper ist eine anpassungsfähige

Maschine, die sich unter härtesten Bedingungen über Hunderttausende von Jahren entwickelt und überlebt hat. Das hat den Aufbau unserer heutigen Zivilisation erst möglich gemacht. Leider macht uns diese Sicherheit aber auch anfällig gegen unerwartete Pandemien. Denn wir dürfen sicher sein, es wird noch viele Pandemien geben. Was heute passiert, sollte uns daran erinnern, proaktiv die eigene Gesundheit und das eigene Immunsystem zu stärken. Dieser Prozess beginnt mit so einfachen Dingen wie Ernährung, Bewegung, Schlaf, Stressmanagement und Sonnenlicht. Darüber berichten wir in den folgenden Kapiteln.

2

Wie unser Immunsystem funktioniert und warum es altert

Für alle lebenden Organismen ist das Immunsystem lebensnotwendig. Es ist unsere wichtigste Verteidigung gegen die Außenwelt und die unterschiedlichsten Krankheitserreger. Mit einem starken Immunsystem können wir Keime mühelos abwehren und das innere Gleichgewicht des Körpers aufrechterhalten.

Praktisch alle Lebewesen, selbst Einzeller und Bakterien, besitzen ein Immunsystem.¹ Die grundlegenden Eigenschaften der Immunantwort, wie sie bei Pflanzen und Eukaryoten, also Lebewesen, deren Zellen einen echten Zellkern aufweisen, vorkommen, beruhen auf der Produktion von antimikrobiellen Peptiden, den sogenannten Defensinen, die große Partikel mittels Phagozytose einschließen, und eine zusätzliche Kaskade, welche die Wirksamkeit von Antikörpern erhöht.

Menschen und Wirbeltiere verfügen über kompliziertere Mechanismen, darunter die Fähigkeit, bestimmte Erreger mit der Zeit effektiver zu erkennen und sich auf sie einzustellen – man nennt dies: adaptive Immunität.²

Das Immunsystem ist außerordentlich komplex. Es hat viele Unterkategorien und ist mit praktisch jedem einzelnen System im Körper verknüpft, darunter dem Herz-Kreislauf-System, dem endokrinen System und dem Nervensystem.³ Vereinfacht gesagt, bezieht sich Immunität auf die Fähigkeit, Krankheitserreger abzuwehren und zu überwachen, aber tatsächlich geht es um weitaus mehr.

In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit den Grundlagen des Immunsystems und seiner Funktion. Wir sprechen über die Bestandteile des Immunsystems, seine Reaktionen und Verteidigungsmechanismen. Und wir müssen uns auch mit den Auswirkungen von Stress und Alterung auf das Immunsystem befassen, denn beide spielen eine wichtige Rolle bei der Regulation von Immunreaktionen.

Wie sich unser Immunsystem klassifizieren lässt

Das Wort „Immunität“ stammt von dem lateinischen Adjektiv „immunis“, was so viel bedeutet wie „ausgenommen“. Es bezeichnet die Fähigkeit des Körpers, Krankheitserreger, Schadstoffe und Eindringlinge

abzuwehren und aus dem Weg zu räumen, sowie die Fähigkeit, eine Immunität gegen bestimmte Krankheiten zu entwickeln.

Um optimal zu funktionieren, muss das Immunsystem in der Lage sein, so viele Erreger wie möglich zu entdecken und zu eliminieren und sie gleichzeitig von den körpereigenen gesunden Bestandteilen des Körpers zu unterscheiden. Sonst würde der Körper sich selbst angreifen, ein Vorgang, den wir als Autoimmunität bezeichnen und der genauso gefährlich sein kann wie eine Infektion.

Das Immunsystem hat viele Kategorien und Untersysteme, die in bestimmten Stadien einer Infektion oder Krankheit zum Einsatz kommen. Es funktioniert stufenweise, wobei physische Barrieren wie Haut, Zell- und Schleimmembranen die erste Schutzschicht bilden. Sie halten die größten und besonders leicht abzuwehrenden Eindringlinge vom Organismus fern. Doch die meisten Bakterien und Viren sind so mikroskopisch klein, dass sie einen Weg finden, um einzudringen. An diesem Punkt greift das Immunsystem ein und sorgt für eine sofortige Reaktion. Werfen wir einen Blick auf die beiden wichtigsten Kategorien des Immunsystems, welche die Verteidigungsmechanismen des Körpers steuern:

Unser angeborenes Abwehrsystem

Mit diesem System kommen wir, wie der Name schon sagt, auf die Welt. Es umfasst die Mehrheit der körpereigenen Verteidigungsmechanismen⁴ und stellt die grundlegende Fähigkeit dar, fremde Substanzen zu identifizieren und auf eine nicht spezifische Weise auf sie zu reagieren. Dieses System wird normalerweise aktiviert, wenn Krankheitserreger oder Schadstoffe in den Körper eindringen und von Rezeptoren erkannt werden, die auf bestimmte Muster reagieren (der Fachbegriff lautet: Pattern Recognition Receptors / Mustererkennende Rezeptoren - PRRs) und deshalb mikrobielle Bestandteile identifizieren können.⁵ Solche Reaktionen können auch bei Verletzungen, Beschädigungen und Stress vorkommen.⁶ PRRs werden von praktisch allen Lebewesen benutzt.

Beispiele für Barrieren an der Oberfläche, die gegen das Eindringen von Schadstoffen schützen, sind Haut und Schleimschichten bei Tieren, das Außenskelett von Insekten und die äußere Schicht von Blättern. Es gibt auch chemische Barrieren wie die antimikrobiellen Peptide, die von der Haut ausgeschieden werden,⁷ aber auch antibakterielle Enzyme im Speichel und in der Tränenflüssigkeit,⁸ in Muttermilch und Magensäure.⁹ Wenn Partikel durch Körperöffnungen wie Nase oder Mund eindringen, greifen mechanische Reaktionen wie Niesen, Husten oder Urinieren, um die Bedrohung abzuwehren.¹⁰

Muster erkennende Rezeptoren (PRRs) werden hauptsächlich vom angeborenen Abwehrsystem ausgeprägt, darunter dendritische Zellen,

Makrophagen, Monozyten, Neutrophile und Epithelzellen.¹¹ Sie erkennen die Molekularmuster von Schadstoffen (Pathogen-assoziierte molekulare Muster - PAMPs) und Schädigungen (DAMPs). Extrazelluläre PAMPs werden von Rezeptoren erkannt, die Grenzwächtern ähneln und deshalb Toll-like Rezeptoren genannt werden (TLRs).¹² Diese Rezeptoren sorgen für die Ausschüttung von Zytokinen, eine Gruppe von Peptiden, die weitere Verteidigungsmechanismen anstoßen.

Das Abtöten von Erregern durch Antikörper gehört zum ergänzenden Kaskadensystem. Dieses System umfasst mehr als 30 verschiedene Proteine und die humorale Immunantwort, die in flüssigen Medien des Körpers wie etwa dem Blut stattfindet.¹³ Es stößt auch die Phagozytose an, den Angriff auf die Zellwände von Bakterien durch Entzündungs- und Membranreaktionen.

Antikörper oder sogenannte Immunglobuline (Ig) sind große Y-förmige Proteine, die vor allem von den Plasmazellen produziert werden, um Krankheitserreger zu neutralisieren. Sie erkennen ein spezifisches Molekül, das zu einem bestimmten Erreger gehört, ein sogenanntes Antigen, und markieren es für die Zerstörung. Bei Säugetieren gibt es fünf Isotypen von Antikörpern: IgA, IgD, IgE, IgG und IgM.¹⁴

Das angeborene Abwehrsystem wird von den weißen Blutkörperchen (Leukozyten) gesteuert, zu denen die Phagozyten (Makrophagen, Neutrophile, dendritische Zellen), die angeborenen Lymphzellen, Mastzellen, eosinophile, basophile und natürliche Killerzellen gehören. Sie eliminieren Krankheitserreger entweder durch physischen Angriff oder durch Einschließen.¹⁵ Letzteres nennt man Phagozytose, man geht davon aus, dass es sich um die älteste Form der körpereigenen Verteidigung handelt.¹⁶ Phagozyten bewegen sich durch den Körper, um Eindringlinge aufzuspüren, können aber auch durch Zytokine herbeigerufen werden.¹⁷

Dendritische Zellen (DCs) sind Phagozyten in der Haut, der Nase, den Lungen und dem Darm. Sie stellen eine Verbindung zwischen dem Körpergewebe und dem Immunsystem her, indem sie den T-Zellen aufgespürte Antigene präsentieren.¹⁸

Die natürlichen Killerzellen sind Lymphozyten, die Eindringlinge nicht direkt angreifen, sondern dysfunktionale Körperzellen - etwa Tumorzellen, gealterte Zellen oder von einem Virus infizierte Zellen - eliminieren, und zwar durch die Ausschüttung zytotoxischer Moleküle.¹⁹ Diese Zellen erkennen infizierte Zellen aufgrund eines niedrigen Spiegels eines Oberflächenmarkers namens MHC 1. Gesunde normale Zellen enthalten genug MHC, sodass die Killerzellen ihnen nichts tun.²⁰

Entzündungsreaktionen sind die unmittelbare Antwort des Immunsystems gegen Infektionen.²¹ Sie umfassen Schwellungen, Erwärmung, Schwitzen, Schmerz und eine Steigerung der Durchblutung

in der angegriffenen Region. Fieber wird von Prostaglandinen gesteuert, einer Gruppe von Lipiden, die auch Eicosanoide genannt werden und eine hormonähnliche Wirkung haben.²² Entzündungen werden auch von Zytokinen ausgelöst, darunter Interleukine, die die Kommunikation zwischen den weißen Blutkörperchen steuern, und Interferone, welche die Zellfunktion bei einer Virusinfektion regulieren.²³ Zytokine rufen Immunzellen zu Hilfe, damit diese Krankheitserreger abtöten, setzen aber auch die Heilung in Gang.²⁴

Das adaptive Immunsystem (AIS)

Dieser Teil des Immunsystems entwickelt sich im Laufe des Lebens aufgrund der Konfrontation mit verschiedenen Krankheitserregern. Jede durchgemachte Infektion wird im immunologischen Gedächtnis gespeichert, das jeden Erreger erkennt und mit einem spezifischen Antigen verknüpft.²⁵ So kommt es zu einer spezifischeren Reaktion, die durch das Erkennen von körperfremden Antigenen ausgelöst wird. Diesen Prozess nennt man Antigenpräsentation.

Eine adaptive Immunität kann auf natürlichem Wege durch Konfrontation mit Krankheitserregern aufgebaut werden oder auf künstlichem Wege durch Impfung. Die ersten Funktionen des adaptiven Immunsystems entstanden offenbar mit den ersten Wirbeltieren, denn wirbellose Tiere haben sie nicht.²⁶ Wichtig ist die Feststellung, dass das adaptive Immunsystem offenbar auch dann Infektionen bekämpfen kann, wenn man dem entsprechenden Erreger noch nie ausgesetzt war.

Eine frühere Konfrontation mit Coronaviren, die Schnupfen auslösen, kann z.B. einen gewissen Schutz vor SARS-CoV-2 bieten, weil es Ähnlichkeiten in der Struktur dieser Viren gibt.^{27,28} Eine weitere wichtige Feststellung bezieht sich auf die Tatsache, dass eine T-Zellen-Immunität Jahrzehnte anhalten kann, während der Schutz durch Antikörper nur einige Monate anhält. Wir brauchen gut funktionierende T-Zellen, damit unser adaptives Immunsystem arbeitet. Doch leider lässt die Funktion der T-Zellen mit zunehmendem Alter, bei schlechter Ernährung und chronischen Krankheiten nach.

Das adaptive Immunsystem setzt sich aus Lymphozyten zusammen, darunter die T-Zellen (T-Killer, Helferzellen) und B-Zellen (Produzenten von Antikörpern), die aus den hämatopoetischen Stammzellen (auch Blutstammzellen) im Knochenmark hervorgehen. T-Zellen sind Teil der zellgesteuerten Immunantwort, während die B-Zellen in die humorale Immunantwort involviert sind. Wenn ein Krankheitserreger in eine Zelle eindringt, hat er die Antikörper-Verteidigung (humorale Immunreaktion) umgangen. In diesem Fall nutzt der Körper die T-Zellen, um den Krankheitserreger zu eliminieren.

Killer-T-Zellen eliminieren infizierte, beschädigte oder dysfunktionale Zellen,²⁹ die sie an den Antigenen erkennen, die mit MCH 1-Molekülen verbunden sind. Dieser Prozess wird durch Co-Rezeptoren auf den T-Zellen unterstützt, die man CD8 nennt. Sobald ein Kontakt hergestellt ist, schütten diese T-Zellen Zellgifte aus, die die Membran der Zielzelle durchdringen und eine Apoptose - den programmierten Zelltod - auslösen.³⁰ Danach können Viren nicht mehr replizieren.

Helfer-T-Zellen (CD4-T-Zellen) modulieren sowohl das angeborene als auch das adaptive Immunsystem und helfen bei der Entscheidung für die angemessene Immunantwort auf einen bestimmten Erreger.³¹ Sie besitzen keine zytotoxischen oder direkt zerstörerischen Eigenschaften. Doch wenn sie aktiviert werden, schütten sie Zytokine aus, welche die antimikrobielle Wirkung von Makrophagen und die Aktivität von Killer-T-Zellen steigern.³² Helfer-T-Zellen erkennen Antigene, die mit MCH-II-Molekülen verknüpft sind, durch die Expression von T-Zellen-Rezeptoren (TCR).

Gamma-Delta-T-Zellen haben die gleichen Eigenschaften wie Killer-T-Zellen, Helfer-T-Zellen und natürliche Killerzellen.³³ Sie besitzen einen unkonventionellen T-Zellen-Rezeptor (TCR), der aus einer Gamma-Kette und einer Delta-Kette besteht, statt aus einer Alpha- und Beta-Kette. Die meisten Gamma-Delta-T-Zellen finden sich in der Darmschleimhaut. Sie stellen eine Verbindung zwischen adaptiven und angeborenen Immunreaktionen her.³⁴ Sie erkennen intakte Antigene, die an keinerlei MCH-Rezeptoren gebunden sind.

Auf der Oberfläche von B-Zellen gibt es spezifische Rezeptoren, die ganze Krankheitserreger erkennen, ohne dass Antigene ausgeschüttet werden müssten. Sie binden sich an fremde Antigene und verwandeln sie durch Proteolyse in antigene Peptide.³⁵ Diese Peptide werden dann auf den MCH-II-Molekülen auf der Oberfläche der B-Zelle ausgestellt und ziehen Helfer-T-Zellen an, woraufhin die T-Zellen Lymphokine ausschütten, die die B-Zelle aktivieren.³⁶ Das führt zur Teilung der B-Zelle, deren Tochterzellen Millionen von Antikörpern ausschütten, die ihrerseits in Blut und Lymphe genau dieses betreffende Antigen wiedererkennen, sich an die Krankheitserreger binden und sie für die Zerstörung markieren. Jede B-Zellen-Linie ist mit einem bestimmten Antikörper verbunden. Der gesamte Komplex der Antigenrezeptoren in den B-Zellen umfasst mit anderen Worten sämtliche Antikörper, die der Körper produzieren kann.³⁷

Angeborenes Abwehrsystem		Adaptives Abwehrsystem	
Physische Barrieren	Weiße Blutkörperchen,	T-Zellen-Immunität	B-Zellen-Immunität