



Philipp Dettmer

IMMUN

Alles über das faszinierende System,
das uns am Leben hält

Vom
Macher des
YouTube-Erfolgs
kurzgesagt

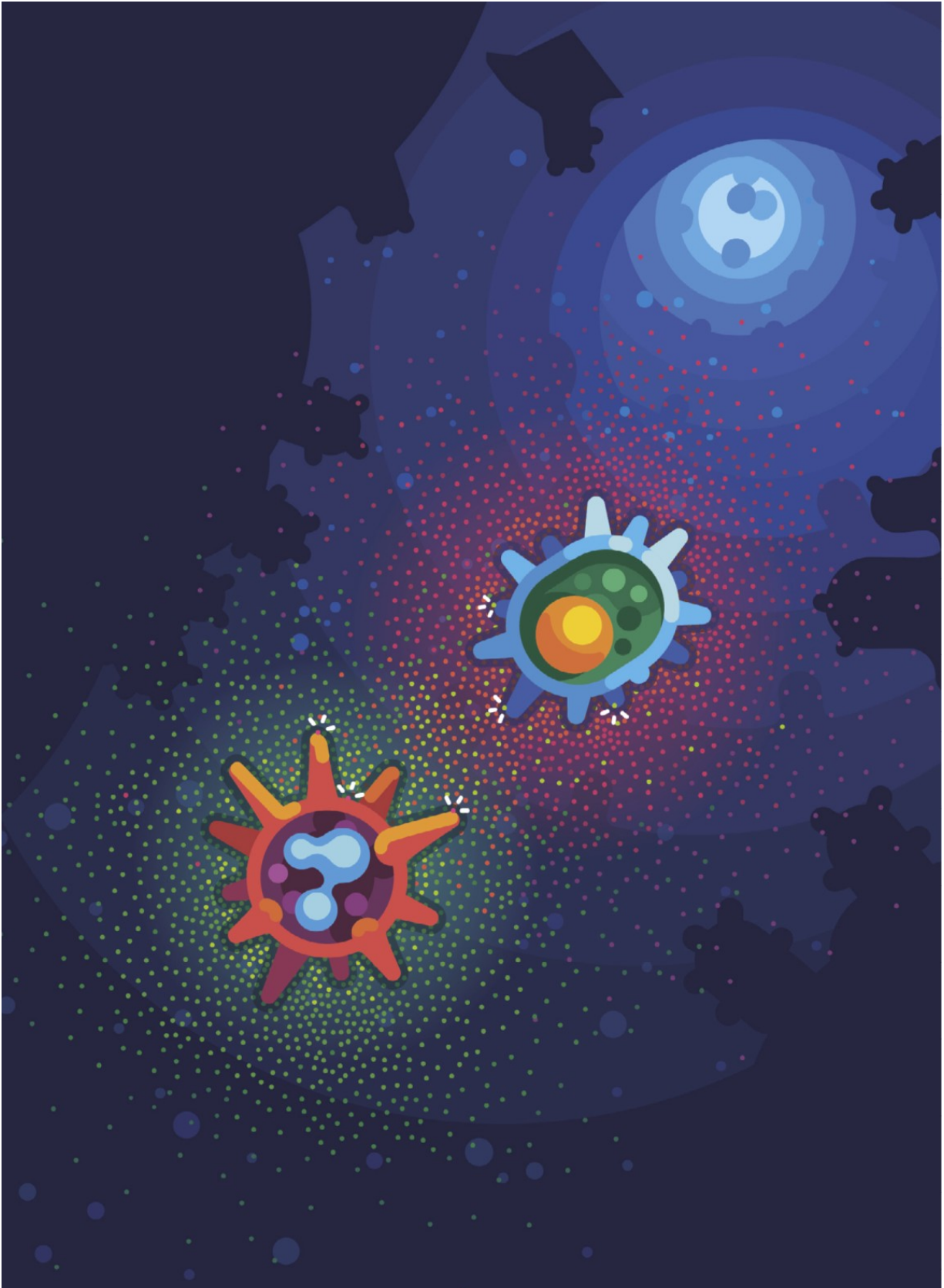
Das Buch

In jeder Sekunde unseres Lebens werden wir angegriffen. Millionen von Bakterien und Viren wollen in unseren Körper eindringen, ihn kolonialisieren und seine Ressourcen stehlen. Doch eine komplexe Armee aus verschiedensten Spezialisten – mit Soldaten, Offizieren und Geheimagenten – stellt sich ihnen in den Weg und sorgt jeden Tag dafür, dass wir noch etwas länger überleben. Diese unermüdlichen Kämpfer beschützen uns vor Krebs, heilen Wunden und trainieren immer aufs Neue unzählige frische Zellen, die sich kompromisslos aufopfern. Für unser Überleben. Das klingt simpel, ist aber in Wirklichkeit kompliziert, wunderschön und einfach erstaunlich.

»*Immun* liest sich wie ein fesselnder Science-Fiction-Roman: Philipp Dettmer nimmt uns mit auf eine Reise in unseren eigenen Organismus. Dort begegnen wir den erfahrenen Kriegern, skrupellosen Gladiatoren und getarnten Detektiven, die uns im alltäglichen Krieg gegen Billionen erbarmungslose, feindliche Mikroorganismen beschützen. Seit ich das Buch gelesen habe, verstehe ich meinen Körper besser als je zuvor. *Immun* ist ein Leckerbissen für Neugierige.« – Tim Urban, Gründer der Website WAIT BUT WHY

Der Autor

Philipp Dettmer ist Informationsdesigner und lebt in München. 2013 gründete er den YouTube-Kanal »kurzgesagt – in a nutshell«, der inzwischen 15 Millionen Abonnenten weltweit hat und zu einem der erfolgreichsten Wissenschaftsblogs auf YouTube zählt. 2017 wurde der Kanal mit dem Deutschen Webvideopreis ausgezeichnet. Seine Erklärvideos und Infographiken werden außerdem bei FUNK, dem Online-Medienangebot von ARD und ZDF, in dem Kanal »Dinge erklärt – kurzgesagt« ausgestrahlt. Dieser Kanal hat über 1 Millionen deutsche Abonnenten.





Philipp Dettmer

IMMUN

**Alles über das faszinierende System,
das uns am Leben hält**

Aus dem Amerikanischen von
Anne Flückiger und Sebastian Vogel

Mit Illustrationen von Philip Laibacher



ullstein extra

Die amerikanische Originalausgabe erschien 2021 unter dem Titel *IMMUNE - A Journey into the Mysterious System that Keeps You Alive* bei Random House, einem Imprint von Penguin Random House LLC, New York.

Besuchen Sie uns im Internet:

www.ullstein.de



Wir wählen unsere Bücher sorgfältig aus, lektorieren sie gründlich mit Autoren und Übersetzern und produzieren sie in bester Qualität.

Hinweis zu Urheberrechten

Sämtliche Inhalte dieses E-Books sind urheberrechtlich geschützt. Der Käufer erwirbt lediglich eine Lizenz für den persönlichen Gebrauch auf eigenen Endgeräten.

Urheberrechtsverstöße schaden den Autoren und ihren Werken, deshalb ist die Weiterverbreitung, Vervielfältigung oder öffentliche Wiedergabe ausdrücklich untersagt und kann zivil- und/oder strafrechtliche Folgen haben.

In diesem E-Book befinden sich Verlinkungen zu Webseiten Dritter. Bitte haben Sie Verständnis dafür, dass sich die Ullstein Buchverlage GmbH die Inhalte Dritter nicht zu eigen macht, für die Inhalte nicht verantwortlich ist und keine Haftung übernimmt.

ISBN 978-3-8437-2596-5

© 2021 der deutschen Ausgabe:

Ullstein Buchverlage GmbH, Berlin

© 2021 by Philipp Dettmer

Umschlaggestaltung: zero-media.net, München nach einer Vorlage von Random House Inc., New York.

Umschlagmotiv: Philip Laibacher

Autorenfoto: Marie Jacquemin

E-Book: [LVD GmbH](#), Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

[Über das Buch / Über den Autor](#)

[Titel](#)

[Impressum](#)

[Widmung](#)

[Einleitung](#)

[Teil 1: Darf ich vorstellen: dein Immunsystem](#)

[1 Was ist das Immunsystem?](#)

[2 Was gibt's zu verteidigen?](#)

[3 Was sind eigentlich Zellen?](#)

[4 Die Imperien und Königreiche des Immunsystems](#)

[Teil 2: Katastrophale Schäden](#)

[5 Lern deine Feinde kennen](#)

[6 Das Wüstenkönigreich der Haut](#)

[7 Die Schnittwunde](#)

[8 Die Soldaten des angeborenen Immunsystems:](#)

[Makrophagen und Neutrophile](#)

[9 Entzündungen: das Spiel mit dem Feuer](#)

10 Nackt, blind und verängstigt: Woher wissen Zellen, wohin sie müssen?

11 Die Bausteine des Lebens erschnüffeln

12 Das unsichtbare Killerheer: das Komplementsystem

13 Geheimdienst deines Immunsystems: die dendritische Zelle

14 Schnellstraßen und Megastädte

15 Die Ankunft der Superwaffen

16 Die größte Bibliothek des Universums

17 Leckere Rezeptor-Rezepte

18 Die Killer-Universität

19 Informationen auf dem Silbertablett: die Antigen-Präsentation

20 Das Erwachen des adaptiven Immunsystems: die T-Zellen

21 Waffenfabriken und Scharfschützen: B-Zellen und Antikörper

22 Der Tanz von T und B

23 Antikörper

Teil 3: Feindliche Übernahme

24 Das Königreich der Schleimhautsümpfe

25 Seltsam und speziell: das Immunsystem im Darm

26 Was ist ein Virus?

27 Das Immunsystem unserer Lunge

28 Grippe: Vor diesem »harmlosen« Virus haben wir zu wenig Respekt

29 Chemische Kriegsführung: Interferone, bitte intervenieren!

30 Das Fenster zur Seele unserer Zellen

31 Killer-T-Zellen: die Mordspezialisten

32 Natürliche Killer

33 Die Virusinfektion wird ausgerottet

34 Das Immunsystem wird wieder heruntergefahren

35 Immun: ewige Erinnerung an einen Feind

36 Impfstoffe und künstliche Immunisierung

Teil 4: Aufstand und Bürgerkrieg

37 Wenn das Immunsystem zu schwach ist: HIV und AIDS

38 Wenn das Immunsystem zu aggressiv wird: Allergien

39 Parasiten und warum unser Immunsystem sie möglicherweise vermisst

40 Autoimmunkrankheiten

41 Die Hygienehypothese und alte Freunde

42 Wie kannst du das Immunsystem stärken?

43 Stress und das Immunsystem

44 Krebs und das Immunsystem

45 Die Corona-Pandemie

Ein paar Worte zum Schluss

[Quellenhinweis](#)

[Danksagung](#)

[Feedback an den Verlag](#)

[Empfehlungen](#)

Für Cathi und Mochi

Einleitung

Stell dir vor, du wachst eines Morgens auf und fühlst dich nicht so gut. Nervige Halsschmerzen, laufende Nase, leichter Husten. *Wie hart mein Leben doch ist!*, denkst du unter der Dusche, aber kein Grund, nicht zur Arbeit zu gehen. Und während du der Welt beweist, dass du kein Weichei bist, beschwert sich auch dein Immunsystem nicht. Vielmehr hat es gerade alle Hände voll zu tun, dich am Leben zu erhalten, damit du auch morgen noch jammern kannst. Da Eindringlinge deinen Körper stürmen, um Hunderttausende deiner Zellen zu töten, stellt dein Immunsystem eine komplexe Verteidigung auf, kommuniziert über riesige Distanzen und aktiviert komplizierte Abwehrmechanismen; schließlich geht es darum, den schnellen Tod von Millionen, wenn nicht Milliarden Feinden sicherzustellen, während du immer noch leicht genervt unter der Dusche stehst.

All diese komplexen Vorgänge passieren quasi im Verborgenen. Was ziemlich schade ist, denn kaum etwas anderes hat einen so großen Einfluss auf deine Lebensqualität wie dein Immunsystem. Es arbeitet allumfassend und flächendeckend, schützt dich bei kleinen

Ärgernissen wie Erkältungen, Kratzern und Schnitten, vor allem aber bei lebensbedrohlichen Krankheiten wie Krebs, Lungenentzündungen und Virusinfektionen wie COVID-19. Dein Immunsystem ist genauso unverzichtbar wie dein Herz und deine Lunge und tatsächlich eines der größten und weitreichendsten Organsysteme in deinem Körper, auch wenn wir es uns kaum als solches vorstellen.

Für die meisten von uns ist das Immunsystem ein nebulöses Etwas, das merkwürdigen, undurchschaubaren Regeln folgt und das manchmal funktioniert und manchmal nicht. Ein bisschen wie das Wetter: sehr schwierig vorherzusagen und ständig irgendwelchen Spekulationen und Meinungen unterworfen, weshalb es uns ziemlich zufällig erscheint. Nun gibt es zwar eine Menge Leute, die völlig überzeugt über das Immunsystem sprechen, doch ohne sich selbst damit auszukennen, fällt es schwer zu beurteilen, welchen Informationen man vertrauen kann und warum. Was ist denn das Immunsystem überhaupt? Und wie funktioniert es?

Dieses Buch zu lesen und die Mechanismen zu begreifen, die uns am Leben erhalten, ist also nicht nur ein nettes Training für unsere grauen Zellen; es ist auch ein Wissen, das jeder Mensch haben sollte. Wenn du weißt, wie das Immunsystem funktioniert, wirst du zum Beispiel Impfungen besser verstehen und weshalb sie dein eigenes sowie das Leben deiner Kinder retten können. Du wirst eine ganz andere Sicht auf Krankheiten gewinnen und dich weniger vor ihnen fürchten. Du bist nicht mehr irgendwelchen Quacksalbern ausgeliefert, die vermeintliche Wundermittel verkaufen. Du kannst besser

einschätzen, welche Medikamente dir tatsächlich helfen können, wenn du krank bist. Du lernst, wie du dein Immunsystem stärken kannst. Du bist in der Lage, deine Kinder wirkungsvoll vor gefährlichen Keimen zu schützen, ohne Angst haben zu müssen, wenn sie sich draußen beim Spielen dreckig machen. Und in dem so unwahrscheinlichen Fall wie einer Pandemie wirst du all den Äußerungen von Gesundheitsministern und Experten besser folgen können, wenn du weißt, was ein Virus ist, was es mit dir anstellt und wie dein Körper sich dagegen wehrt.

Abgesehen von diesen vielen praktischen und hilfreichen Dingen ist das Immunsystem eines der größten Wunder der Natur. Es ist nämlich nicht bloß ein Werkzeug, das deinen Husten verschwinden lässt, sondern untrennbar verbunden mit so gut wie allen Vorgängen in deinem Körper. Und obwohl dein Immunsystem eigentlich dazu da ist, dein Überleben zu sichern, kann es auch deinen verfrühten Tod verursachen, wenn es versagt oder hyperaktiv ist.

Die enorme Komplexität des menschlichen Immunsystems fasziniert und verfolgt mich seit fast zehn Jahren. Angefangen hat es mit einem Semesterprojekt für mein Informationsdesign-Studium. Das Immunsystem erschien mir dafür sehr passend. Also besorgte ich mir einen Stapel Bücher und vergrub mich darin. Doch egal, wie viel ich darüber las, es blieb unheimlich kompliziert. Und je mehr Wissen ich mir aneignete, desto weniger glaubte ich daran, das Immunsystem in einfacher Form verständlich machen zu können. Ständig tauchten weitere

Mechanismen, weitere Ausnahmen und noch komplexere Zusammenhänge auf.

Das Projekt sollte ursprünglich nur einen Frühling lang dauern. Es wurde Sommer, dann Herbst, dann Winter ... Die Interaktionen zwischen den verschiedenen Teilen des Immunsystems wirkten so elegant wie ein schöner Tanz, dass ich einfach nicht aufhören konnte, noch mehr und noch mehr darüber zu lernen.

Mit dem wachsenden Wissen veränderte sich auch meine Sicht auf meinen Körper von Grund auf. Bekam ich eine Grippe, verfiel ich nicht wie sonst in selbstmitleidiges Gejammer, sondern beobachtete meinen Körper auf einmal ganz genau, befühlte die geschwollenen Lymphknoten und stellte mir vor, was meine Immunzellen gerade taten, welcher Teil des Netzwerks aktiv war und wie T-Zellen Millionen Eindringlinge abtöteten, um mich zu schützen. War ich mal wieder unvorsichtig und zog mir im Wald einen Kratzer zu, war ich dankbar für die Makrophagen, jene großen Immunzellen, die erschrockene Bakterien jagen und in Stücke reißen, um die offene Wunde vor Infektionen zu schützen. Als ich dummerweise in den falschen Müsliriegel biss und mit einem allergischen Schock reagierte, dachte ich auf dem Weg ins Krankenhaus über Mastzellen und IgE-Antikörper nach, die mich fast umgebracht hätten, weil sie meinten, mich vor supergefährlichen Lebensmitteln beschützen zu müssen.

Als ich dann mit zweiunddreißig Jahren die Diagnose Krebs erhielt und mehrere Operationen sowie Chemotherapie über mich ergehen lassen musste, wurde ich noch besessener von der Immunologie. Denn zu den

Aufgaben des Immunsystems gehört es, Krebszellen abzutöten. In meinem Fall hatte es zwar versagt, aber irgendwie machte es mich gar nicht so wütend, weil ich wusste, wie schwierig dieser Job für meine Immunzellen war und wie schwer sie dem Krebs das Leben trotz allem machten. Und als die Chemotherapie schließlich den Krebs wegschmelzen ließ, hatte ich wieder vor Augen, wie meine Immunzellen in die sterbenden Tumore einfielen und sie Zelle für Zelle auffraßen.

Krankheiten sind beunruhigend und machen Angst, und ich hatte wahrlich schon mehr als genug davon. Es hat mich jedoch immer getröstet zu wissen, wie meine Zellen mich verteidigen, schützen und für mich sterben, wie mein Immunsystem, dieser zentrale und ganz persönliche Teil von mir, für meinen Körper kämpft, ihn heilt und wiederherstellt. Mehr über das Immunsystem zu wissen hat mein Leben insgesamt besser und interessanter gemacht und mir einiges von der Angst genommen, die mit Krankheiten einhergeht. Zusammenhänge und Prozesse des Immunsystems zu kennen hat vieles relativiert.

Es hat mir aber auch einfach Spaß gemacht, immer tiefer in die Materie vorzudringen, und wurde regelrecht zu einem Hobby. Bis ich schließlich in die Wissenschaftskommunikation einstieg und es zu meiner Lebensaufgabe machte, komplexe Sachverhalte gut verständlich zu vermitteln. Vor etwa acht Jahren gründete ich den YouTube-Kanal *Kurzgesagt - In A Nutshell*, der Wissen anschaulich und ansprechend präsentieren, dabei aber wissenschaftlich so exakt wie möglich sein sollte. Heute - im Frühjahr 2021 - arbeiten im *Kurzgesagt*-Team

über vierzig Leute an dieser Vision mit, der Kanal hat über vierzehn Millionen Abonnenten und erreicht jeden Monat etwa dreißig Millionen Zuschauer. Aber wenn es diese riesige Plattform schon gibt, wieso mache ich mir dann die Heidenarbeit, dieses Buch zu schreiben? Tja ... wir haben zwar einige sehr erfolgreiche Videos über das Immunsystem gemacht, mich hat aber immer gestört, dass ich dieses wunderbare Thema dabei nicht in der Tiefe behandeln konnte, die ihm zusteht. Dafür reicht ein Zehn-Minuten-Video einfach nicht. Dieses Buch ist also der Versuch, meine bald zehn Jahre dauernde Liebelei mit dem Immunsystem zu etwas Handfestem zu machen, das dir hoffentlich dabei hilft, auf unterhaltsame Art und Weise etwas über jene ebenso erstaunliche wie wunderschöne Vielschichtigkeit zu lernen, die uns Tag für Tag am Leben hält.

Leider ist das Immunsystem, gelinde gesagt, kompliziert. Etwa so kompliziert wie die Besteigung des Mount Everest. Und ungefähr so leicht verständlich wie das deutsche Steuergesetz auf Chinesisch. Abgesehen von dem Gehirn ist das Immunsystem das komplexeste biologische System, das wir kennen. Und je dicker ein Immunologie-Lehrbuch ist, desto mehr Details türmen sich auf, desto mehr Ausnahmen kommen zum Vorschein, desto verschlungener wird das ganze System und desto spezifischer für jede einzelne Eventualität. Jeder der vielen Teile des Immunsystems hat diverse Jobs, Funktionen und Spezialgebiete, die sich aber alle überschneiden und gegenseitig beeinflussen. Willst du das Immunsystem

dennoch verstehen lernen, taucht die nächste Hürde auf: die Menschen, die das Immunsystem beschreiben.

Wissenschaftler haben den Grundstein gelegt für die wunderbare moderne Welt, in der wir heute leben dürfen. Das war harte Arbeit und bedingte bodenlose Neugier, weshalb wir diesen Frauen und Männern größte Dankbarkeit schulden. Bedauerlicherweise waren und sind Wissenschaftler aber oft sehr schlecht darin, schlüssige Bezeichnungen und eine verständliche Sprache für ihre Entdeckungen zu finden. Dabei dürften die Immunologen zu den schlimmsten Übeltätern gehören. So wird eine eh schon atemberaubend komplexe Disziplin noch schwieriger durch Wörter wie Haupthistokompatibilitätskomplexmolekül-Klasse-I und -Klasse-II, Gamma-delta-T-Zellen, Interferon-alpha, -beta, -gamma und -kappa oder das Komplementsystem mit Mitspielern wie der C5-Konvertase, sprich dem C4b2a3b-Komplex. Es ist also wirklich kein Zuckerschlecken, ein Lehrbuch aufzuschlagen, um mal rasch etwas über das Immunsystem zu erfahren. Die hochkomplexen Beziehungen zwischen den vielen Teilen des Immunsystems, die zahllosen Ausnahmen und die umständlichen und unverständlichen Regeln zu kapieren ist auch ohne all die sprachlichen Stolpersteine eine riesige Herausforderung. Immunologie ist kompliziert - selbst für Leute, die im Gesundheitssystem arbeiten, selbst für Leute, die Immunologie studieren, ja selbst für die führenden Expertinnen und Experten auf dem Gebiet.

Das alles macht es so furchtbar, das Immunsystem erklären zu wollen. Wird zu stark vereinfacht, geht die

Schönheit des Ganzen flöten, das Wunder dieses evolutionären Geniestreichs, dieser scheinbar unendlichen Komplexität, die sich mit den zentralsten Problemen des Lebens beschäftigt. Wird hingegen jedes Detail aufgeführt, kann kaum noch jemand mithalten, und die Gefahr, seine Leser zu Tode zu langweilen, ist groß. Alles aufzulisten geht also schlicht zu weit. Das wäre etwa so, als würde dir jemand gleich beim ersten Date seine komplette Lebensgeschichte erzählen: völlig erdrückend. Und deine Lust auf ein zweites Date wäre vermutlich dahin.

In diesem Buch versuche ich, diese Hindernisse vorsichtig zu umgehen. Ich benutze Normalsterblichensprache und setze nur dann komplizierte Wörter ein, wenn es wirklich nötig ist. Auch Prozesse und Interaktionen vereinfache ich, solange ich dabei wissenschaftlich korrekt bleiben kann. Und habe ich dir in dem einen Kapitel sehr viele Informationen serviert, dann ist ein anderes gechillter, damit du etwas durchatmen kannst. Außerdem gibt's immer mal wieder eine Zusammenfassung dessen, was du bereits gelernt hast. Kurzum: Dieses Buch soll es jedem ermöglichen, sein eigenes Immunsystem zu verstehen und dabei hoffentlich auch etwas Spaß zu haben. Hinzu kommt, dass all diese Komplexität und Schönheit eng mit deiner eigenen Gesundheit und deinem Überleben verknüpft sind. Insofern lernst du dabei sicher auch das eine oder andere Nützliche über dich selbst. Und wenn du dich wieder einmal krank fühlst, wirst du deinen Körper hoffentlich mit ganz neuen Augen betrachten.

Hier noch der obligatorische Hinweis: Ich bin kein Immunologe, sondern komme aus der Wissenschaftskommunikation und bin einfach ein großer Fan des Immunsystems. Am Ende des Buches findest du einen Link zu den Quellenangaben und Empfehlungen zum Weiterlesen.

Dieses Buch kann niemals alle Immunologen zufriedenstellen. Gleich zu Beginn meiner Recherchen hat sich gezeigt, dass jede Menge unterschiedlicher Vorstellungen und Konzepte zu einzelnen Details des Immunsystems existieren und dass sich auch Wissenschaftler über vieles nicht einig sind (was Wissenschaft ja überhaupt erst aus- und so aufregend macht!). Zum Beispiel halten manche Immunologen gewisse Zellen für überflüssige Fossilien, während andere die gleichen Zellen als unerlässlich für unsere Abwehr erachten.



Dieses Buch stützt sich auf Gespräche mit Wissenschaftlern, auf aktuelle Lehrbücher der Immunologie und auf wissenschaftliche Artikel. Trotzdem wird es irgendwann bestimmt überarbeitet werden müssen. Und das ist auch gut so! Die Wissenschaft der Immunologie ist ein dynamisches Feld, in dem immer wieder spannende Dinge passieren, in dem verschiedene Theorien und Ideen sich gegenseitig beeinflussen, in dem es noch vieles zu entdecken gibt. Das ist großartig, weil es bedeutet, dass wir ständig mehr über uns selbst und unsere Welt herausfinden.

Bevor wir jetzt ins kalte Wasser springen und uns anschauen, was das Immunsystem eigentlich so macht, wollen wir zunächst die Grundlagen definieren, damit wir in der Hinsicht festen Boden unter den Füßen haben: Was ist das Immunsystem? In welchem Kontext arbeitet es? Und welche klitzekleinen Teile verrichten die eigentliche Arbeit? Haben wir diese Grundlagen intus, schauen wir uns an, was bei einer Verletzung passiert und wie das Immunsystem dir zu Hilfe eilt. Danach sehen wir uns an, wie sich das Immunsystem bemüht, die empfindlichsten Teile deines Körpers vor schweren Infektionen zu schützen. Und schließlich werfen wir noch einen Blick auf Immunstörungen wie Allergien und Autoimmunerkrankungen, wobei wir auch klären, ob und wie du dein Immunsystem bei seiner Arbeit unterstützen kannst.

Aber nun lass uns am Anfang anfangen. Besser ist's ...

Teil 1

Darf ich vorstellen:
dein Immunsystem

1 Was ist das Immunsystem?

Die Geschichte des Immunsystems hat vor etwa dreieinhalb Milliarden Jahren begonnen, und zwar mit der Geschichte des Lebens selbst, in einer merkwürdigen Pfütze auf einem feindseligen, unendlich einsamen Planeten. Wir wissen nicht, was bei diesen ersten Lebewesen in der Pfütze so abging, jedenfalls waren sie schon bald ziemlich fies zueinander. Du denkst, dein Leben sei hart, weil du morgens so früh aufstehen und die Kinder startklar machen musst oder weil dein Burger kalt ist? Da können die ersten lebenden Zellen nur drüber lachen. Während sie dabei waren herauszufinden, wie sich die Chemie in ihrer Umgebung in brauchbare Stoffe umwandeln ließ, mussten sie sich gleichzeitig ständig genug Energie besorgen, um überhaupt am Leben zu bleiben. Dabei nahmen einige von ihnen einfach eine Abkürzung. Warum selber schufteten, wenn man auch bei anderen stibitzen kann? Dafür konnte man entweder seinen Nächsten als Ganzes verschlucken oder ihn durchlöchern und sein Inneres aussaugen. Beides barg allerdings die Gefahr, plötzlich selbst zum Opfer zu werden. Vor allem, wenn der Nächste größer und stärker war als man selbst. Einen sicheren Weg zum Ziel gab es

aber: Man schlüpfe in den anderen hinein und mache es sich dort bequem. Mitfüttern im fremden Schoß. Klingt irgendwie schön, wenn dieses Schmarotzertum nicht so schreckliche Folgen für den Wirt hätte.

Schmarotzer aber hatten damit ihre Überlebensstrategie gefunden. Gleichzeitig wurde es aber evolutionär notwendig, sich gegen sie zu verteidigen. In den nächsten knapp drei Milliarden Jahren traten die Mikroorganismen gegeneinander an und bekämpften einander mit den immer gleichen Waffen. Könntest du mit einer Zeitmaschine zurückreisen, um diesem wunderlichen Kampf beizuwohnen, würdest du dich ziemlich bald langweilen. Noch war nichts groß genug, dass du es mit bloßem Auge hättest sehen können. Nur ein hauchdünner Bakterienfilm auf feuchten Felsen. In den ersten paar Milliarden Jahren war die Erde ein ziemlich öder Ort. Bis das Leben den wahrscheinlich größten Sprung seiner Geschichte machte und von nun an immer komplexer wurde: Neben Einzellern, die auf sich allein gestellt sind, entstanden große Zellgemeinschaften (Mehrzeller), die eng zusammenarbeiten und sich spezialisieren. Was diesen gewaltigen Entwicklungsschritt ausgelöst hat, wissen wir allerdings nicht genau.*

* Vielleicht handelte es sich ironischerweise um eine Nebenerscheinung der fiesen Einzeller. Irgendwann muss eine Zelle eine andere verschluckt haben, ohne sie zu zerstören, und diese beiden Zellen begannen eine der erfolgreichsten Partnerschaften auf unserem Planeten. Eine Partnerschaft, die bis heute bestens funktioniert. Die »innere Zelle« (die wir Mitochondrien nennen) hat sich darauf spezialisiert, dem Wirt Energie zur Verfügung zu stellen, während die »äußere Zelle« Schutz bietet und Futter auftreibt. Dieser Deal klappte richtig gut und erlaubte es der neuen Superzelle, immer komplexer zu werden.

Vor etwa fünfhunderteinundvierzig Millionen Jahren wurde mehrzelliges tierisches Leben plötzlich allgegenwärtig - und jetzt auch sichtbar. Aber nicht nur das: Es wurde auch binnen kürzester Zeit immer vielfältiger. Das war natürlich problematisch für unsere neu entwickelten Vorfahren. Milliarden von Jahren hatten die Keime in ihrer eigenen winzigen Welt um Platz und Ressourcen gekämpft, und das in jedem verfügbaren Ökosystem. Nun sind Tiere für Bakterien und andere Viecher aber auch nichts anderes als einladende Ökosysteme. Schließlich sind sie randvoll mit kostenlosen Nährstoffen. Eindringlinge und Parasiten waren somit von Anfang an eine existenzielle Gefahr für mehrzellige Lebensformen.

Nur Mehrzeller, die irgendwie mit dieser Bedrohung fertig wurden, hatten überhaupt eine Chance, zu überleben und sich weiterzuentwickeln. Leider ist es uns nicht möglich, das Immunsystem von Fossilien zu studieren, da Zellen und Gewebe einfach keine Hunderte Millionen Jahre überdauern. Doch dank der Wissenschaft können wir die vielen Äste des Lebensbaums studieren und das Immunsystem jener Tiere unter die Lupe nehmen, die daraus entstanden sind und die es heute noch gibt. Grundsätzlich gilt: Je weiter voneinander entfernt zwei Lebewesen auf dem Lebensbaum liegen, dabei aber immer noch gewisse gemeinsame Immuneigenschaften haben, desto älter müssen diese Eigenschaften sein.

Die große Frage lautet also, worin sich verschiedene Immunsysteme unterscheiden und welche Gemeinsamkeiten es zwischen verschiedenen Tieren gibt.

So gut wie alle heutigen Lebewesen verfügen über irgendeine Form einer inneren Abwehr - und je komplexer das Lebewesen, umso komplexer das Immunsystem. Indem wir also die Abwehrsysteme von entfernt verwandten Tieren vergleichen, können wir eine Menge über das Alter des Immunsystems lernen.

Selbst die kleinsten Lebewesen, sprich Bakterien, geben nicht kampflos auf, sondern besitzen Abwehrmechanismen gegen Viren. Und Schwämme, die einfachste und älteste lebende Tierart - sie existieren seit mehr als einer halben Milliarde Jahren -, verfügen über die wohl älteste tierische Immunreaktion, die sogenannte humorale Immunantwort. In diesem Zusammenhang ist Humor das altgriechische Wort für Körpersaft. Die humorale Immunantwort meint also winzig kleine Proteine, die in der Körperflüssigkeit außerhalb der tierischen Zellen schwimmen und dort fremde Mikroorganismen jagen, um sie zu töten. Diese Urform der Verteidigung war bereits so erfolgreich, dass im Grunde alle Tiere darüber verfügen. Auch du. Die Evolution hat es gewissermaßen zum Kern jeglicher Immunabwehr gemacht; und es funktioniert immer noch wie vor einer halben Milliarde Jahren.

Das war aber erst der Auftakt.

Ein mehrzelliges Tier zu sein hat den großen Vorteil, ganz viele unterschiedlich spezialisierte Zellen einsetzen zu können. Von einem evolutionären Standpunkt aus betrachtet, dauerte es also vermutlich nicht sehr lange, bis Tiere auch Zellen besaßen, die auf die Abwehr spezialisiert waren. Auch diese zellbasierte Immunität war von Anfang an ein echter Renner. Sogar Würmer und Insekten haben

spezialisierte Soldaten-Immunzellen, die sich frei durch den Tierkörper bewegen und jeden Eindringling direkt bekämpfen. Je höher wir in den Ästen der Evolution klettern, umso ausgeklügelter wird das Immunsystem. Aber schon auf den untersten Ästen, bei den ersten Wirbeltieren, kommen spezialisierte Immunorgane und Trainingszentren für Zellen ebenso zum Vorschein wie eines der mächtigsten Prinzipien der Immunität. Dabei handelt es sich um die Fähigkeit, spezifische Gegner zu erkennen, schnell jede Menge maßgeschneiderter Waffen gegen diese herzustellen und den Feind gegebenenfalls sogar wiederzuerkennen. Selbst einfachste Wirbeltiere wie kieferlose Fische mit ihrem absurden Aussehen verfügen über diese Abwehrmechanismen.

Im Laufe von Hunderten Jahrmillionen wurden die Verteidigungssysteme ausgefeilter und raffinierter, doch an den grundlegenden Prinzipien hat sich seit etwa einer halben Milliarde Jahren nichts geändert. Die Evolution musste das Immunsystem also nicht immer wieder neu erfinden, sondern brauchte ein großartiges System nur zu justieren.

Womit wir beim Menschen und damit bei dir selbst angekommen wären. Du hast das Glück, in den Genuss eines in Hunderten Jahrmillionen verfeinerten Immunsystems zu kommen. Du bist die Spitze der Immunsystementwicklung. Dabei ist das Immunsystem nicht irgendwo in dir drin, sondern es ist du. Es ist Ausdruck deiner Biologie, die sich selbst schützt und dir auf diese Weise zu leben ermöglicht. Wenn wir also vom Immunsystem sprechen, sprechen wir immer auch von dir.

Das Immunsystem ist auch nicht ein einziger Teil. Vielmehr ist es eine Ansammlung von Hunderten Stützpunkten und Rekrutierungszentren überall in deinem ganzen Körper, miteinander verbunden durch eine Schnellstraße. Ein Netzwerk aus Gefäßen, so ausgedehnt und omnipräsent wie dein Herz-Kreislauf-System. Und als wäre das noch nicht genug, sitzt in deiner Brust der Thymus, ein spezialisiertes Immunorgan von der Größe eines Hähnchenflügels, das allerdings mit den Lebensjahren an Effizienz einbüßt.

Darüber hinaus überwachen Milliarden von Immunzellen sowohl die Schnellstraße als auch deinen Blutkreislauf, jederzeit bereit, deine Feinde anzugreifen. Viele von ihnen halten in dem Gewebe Wache, das dich von der Außenwelt abgrenzt. Neben dieser Aktivverteidigung verfügst du über Abwehrsysteme aus Trillionen von Protein-Waffen, die du dir als herumschwimmende selbstorganisierte Landminen vorstellen kannst, sowie über spezialisierte Immununiversitäten, wo Zellen zu kämpfen lernen. Zudem arbeitet dein Immunsystem mit der größten biologischen Bibliothek der Welt, um alle Sorten von Eindringlingen, die dir in deinem Leben jemals begegnen könnten, zu erkennen und sich bei Bedarf an sie zu erinnern.

Grundsätzlich ist das Immunsystem ein Werkzeug, um *Selbst* und *Nicht-Selbst* voneinander zu unterscheiden. Dabei spielt es keine Rolle, ob das *Nicht-Selbst* dir schaden würde oder nicht. Steht es nicht auf der exklusiven Gästeliste, die freien Zugang garantiert, wird es vorsorglich attackiert und zerstört. Denn in der Welt des Immunsystems ist kein *Nicht-Selbst* es wert, ein Risiko

einzuweichen. Ohne diese bedingungslose Regel wärst du innerhalb von wenigen Tagen tot. Doch wie wir noch sehen werden, kann leider auch ein übereifriges oder zögerliches Immunsystem schweres Leid bis hin zum Tod verursachen.

Selbst und *Nicht-Selbst* zu unterscheiden liegt dem Immunsystem zwar als Prinzip zugrunde, sein Ziel aber ist es, die perfekte Balance zwischen allen Elementen und Zellen des Körpers aufrechtzuerhalten, die sogenannte Homöostase. Ich kann hier gar nicht genug betonen, wie tatkräftig das Immunsystem versucht, diesen Ausgleich zu wahren beziehungsweise wiederherzustellen, und wie besorgt es darum ist, sich selbst zu beruhigen und nicht überzureagieren. Dem Immunsystem geht es letztlich um eine stabile Ordnung, die dir das Leben angenehm und leicht macht. Wir nennen es Gesundheit. Sie ist die Voraussetzung für ein gutes Leben, in dem wir tun und lassen können, was wir wollen, ohne von Schmerzen oder Krankheiten eingeschränkt zu werden.

Wie wichtig Gesundheit ist, merken wir immer dann, wenn wir sie einbüßen. Gesundheit ist somit ein abstraktes Konzept, denn sie beschreibt die Abwesenheit von etwas. Die Abwesenheit von Leid und Schmerzen, die Abwesenheit von Einschränkungen. Bist du gesund, fühlst du dich normal, eben richtig. Verlierst du deine Gesundheit, und sei es für einen kurzen Moment, wirst du kaum je wieder vergessen können, wie zerbrechlich du bist und dass dein Leben eigentlich geliehene Zeit ist. Krankheiten sind ein unausweichlicher Teil des Lebens. Vielleicht hattest du bislang Glück und musstest dich noch nicht sonderlich damit auseinandersetzen. Aber hast du oder jemand, der