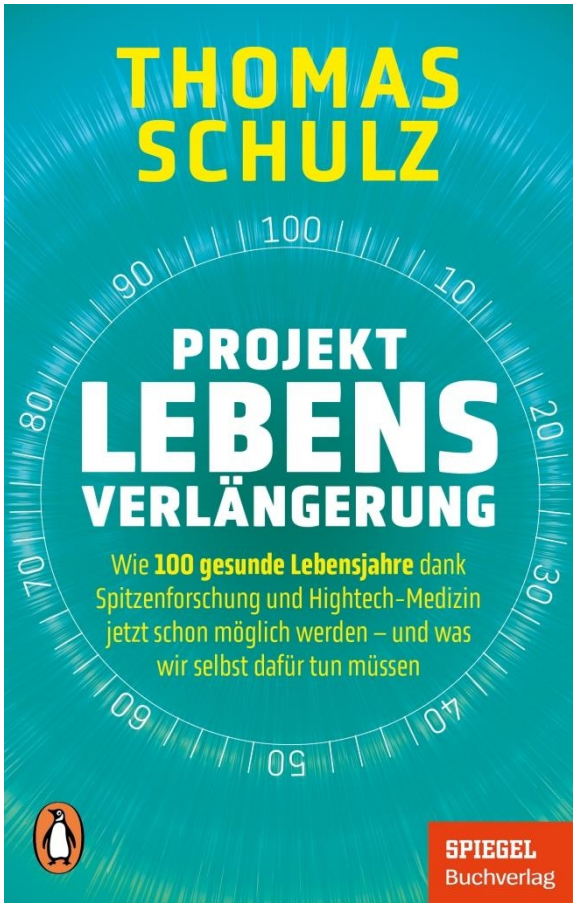


Leseprobe

Thomas Schulz

Projekt Lebensverlängerung

Wie 100 gesunde Lebensjahre dank Spitzenforschung und Hightech-Medizin jetzt schon möglich werden - und was wir selbst dafür tun müssen - Ein SPIEGEL-Buch

---

Bestellen Sie mit einem Klick für 15,00 €

amazon.de Thalia Hugendubel.de Das Lesen ist schön!

Seiten: 336

Erscheinungstermin: 12. August 2026

Mehr Informationen zum Buch gibt es auf

www.penguin.de

Inhalte

- Buch lesen
- Autor*in

Zum Buch

Gesund 100 zu werden, ist möglich: SPIEGEL-Journalist Thomas Schulz erklärt, welche Maßnahmen und Hilfsmittel sinnvoll sind, welche nicht - und was am meisten bringt

Die vielleicht größte medizinische Erkenntnis des vergangenen Jahrzehnts lautet: Das Altern ist formbar. Es kann beeinflusst, beschleunigt, gebremst werden. Und wir können selbst viel dafür tun. Was genau, das hat Thomas Schulz in zahlreichen Interviews mit Nobelpreisträgerinnen und Krebsmedizinern, Hirnforscherinnen und Ernährungsexperten, Biohackern und KI-Vordenkerinnen zusammengetragen. Sein Buch führt in die angesehensten Longevity-Forschungslabore der Welt ebenso wie in die Unternehmenszentralen des Silicon Valley und beantwortet die großen Fragen: Welche Faktoren haben den stärksten Einfluss auf die gesunde Lebensspanne? Welche Ernährung, welche Sportarten sind am besten geeignet? Kann die Einnahme von Zusatzstoffen oder Medikamenten tatsächlich das Leben verlängern? Und, nicht zuletzt: Können wir uns die kommende Gesellschaft der Hundertjährigen überhaupt leisten?



Autor

Thomas Schulz

Thomas Schulz ist Reporter der Chefredaktion des SPIEGEL. Zuvor berichtete er fast ein Jahrzehnt als Korrespondent für den SPIEGEL aus den USA: ab 2008 aus New York und ab 2012 aus San Francisco, wo er die Redaktionsvertretung im Silicon Valley aufbaute. Er wurde unter anderem ausgezeichnet

Thomas Schulz ist Reporter der Chefredaktion des SPIEGEL. Zuvor berichtete er fast ein Jahrzehnt als Korrespondent für den SPIEGEL aus den USA: ab 2008 aus New York und ab 2012 aus San Francisco, wo er die Redaktionsvertretung im Silicon Valley aufbaute. Er wurde unter anderem ausgezeichnet mit dem Henri-Nannen-Preis, dem Deutschen Journalistenpreis sowie als Journalist des Jahres. Bei DVA erschienen seine vielbeachteten internationalen Wirtschaftsbestseller »Was Google wirklich will« (2015) und »Zukunftsmedizin« (2018).
Schulz studierte Politikwissenschaften in Frankfurt und Kommunikationswissenschaften als Fulbright-Stipendiat in den USA. An der Harvard University forschte er zu internationaler Wirtschaftspolitik. Seit 2024 ist er Mitglied des Sachverständigenrats des führenden europäischen Zentrums für gesunde Langlebigkeit, des Institut Hospitalo-Universitaire HealthAge an der Universitätsklinik Toulouse.

Außerdem von Thomas Schulz lieferbar:

Zukunftsmedizin: Wie das Silicon Valley Krankheiten besiegen und unser Leben verlängern will

Was Google wirklich will: Wie der einflussreichste Konzern der Welt unsere Zukunft verändert

www.penguin-verlag.de

Der Verlag behält sich die Verwertung der urheberrechtlich geschützten Inhalte dieses Werkes für Zwecke des Text- und Data-Minings nach § 44b UrhG ausdrücklich vor.
Jegliche unbefugte Nutzung ist hiermit ausgeschlossen.

1. Auflage
Copyright dieser Ausgabe © 2026 by Penguin Verlag
in der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,
Neumarkter Straße 28, 81673 München
und SPIEGEL-Verlag Rudolf Augstein GmbH & Co. KG,
Ericusspitze 1, 20457 Hamburg
Copyright der Originalausgabe © 2024 by DVA, München
und SPIEGEL-Verlag Rudolf Augstein GmbH & Co. KG,
Ericusspitze 1, 20457 Hamburg
produktsicherheit@penguinrandomhouse.de
(Vorstehende Angaben sind zugleich
Pflichtinformationen nach GPSR.)

Umschlaggestaltung: Büro Jorge Schmidt
Umschlagmotiv: Allies Interactive / Shutterstock.com
Satz, Druck und Bindung: GGP Media GmbH
Printed in Germany
ISBN 978-3-328-11418-5
www.penguin-verlag.de

INHALT

Einleitung 7
Warum auf einmal 100 die neuen 80 sind

1 Ist Altern eine Krankheit? 19
Wie eines der größten Geheimnisse der Biologie entschlüsselt wird

2 Stop the Clock! 53
Wie sich das biologische Alter messen lässt – und wie es zurückgedreht werden kann

3 Krebs 92
Die größte Hoffnung

4 Gene, Zellen, SuperAger 142
Warum manche Menschen mit 100 noch topfit sind

5 Gehirngesundheit 173
Wie gute Freunde das Leben verlängern und warum Alzheimer nicht mehr unbesiegbar ist

6 Ernährung 194
Länger leben durch richtiges Essen

7 Fitness 224
Schlechte Karten für Couch Potatoes

8 Zwischen Biohacking und Blockbuster-Medikamenten 245
Auf dem Weg zur Verjüngungsmedizin

9 Die Gesellschaft der Hundertjährigen 294
Wie wir uns darauf vorbereiten sollten

10 Projekt Lebensverlängerung: Die Grundregeln 309

Register 321



EINLEITUNG

Warum auf einmal 100 die neuen 80 sind

Für heute Fünfjährige wird es normal sein, 100 Jahre alt zu werden. Klingt gleich zu Anfang ein bisschen gewagt? Ist es aber nicht. So erwarten es Demografen schon länger. »Ein sehr langes Leben ist nicht das ferne Privileg künftiger Generationen – ein sehr langes Leben ist das wahrscheinliche Schicksal der meisten Menschen, die heute in den entwickelten Ländern leben«, hat James Vaupel, Direktor des Max-Planck-Instituts für demografische Forschung, schon 2002 vorhergesagt. »100 Jahre zu leben, wird zum Standard für alle, die heute geboren werden«, stellten Wissenschaftler der Stanford University 2021 nüchtern fest.

Viele, die zum Altern forschen, sehen es inzwischen sogar so: Auch heute Fünfzigjährige haben noch gute Chancen, 100 zu werden. Und spätere Generationen halten eher auf die 120 zu.

Nach fast zwei Jahren Recherche und vielen Dutzend Interviews mit Spitzenforscherinnen und Nobelpreisträgern, mit Krebsmedizinerinnen, Alzheimer-Spezialisten, KI-Vordenkern, Ernährungsexpertinnen und CEOs von Techkonzernen bin ich

davon ebenso überzeugt. Auch, wenn es sich gerade nicht so anfühlt.

Ich bin neulich selbst 50 geworden, und ich merke es. Die Haare werden weniger und die Brille stärker. Morgens tut der Rücken weh, die Nieren waschen das zur schnellen Abhilfe eingeworfene Ibuprofen nicht mehr so schnell aus, und die Berge bin in ich früher auch schon mal schneller hochgekraxelt. Da war eben mein Atemzugvolumen größer, und meine Muskeln konnten besser Sauerstoff aufnehmen. Auch das abendliche Bier wird von der Leber nicht mehr so schnell abgebaut. Und das Blut fließt langsamer durch mein Gehirn. Über Spermiendichte wollen wir gar nicht reden. Das Verhältnis von Muskeln und Fett verschiebt sich sehr penetrant auf die falsche Seite.

Die Liste ist so fürchterlich lang, dass mir die verbleibenden (angegrauten) Haare zu Berge stehen. Und dabei habe ich noch nicht mal das dramatisch steigende Krebsrisiko erwähnt. Hermann Hesse beschrieb es wunderbar punktgenau:

Von der Wiege bis zur Bahre
sind es fünfzig Jahre,
dann beginnt der Tod.
Man vertrottelt, man versauert,
man verwahrlost, man verbauert
und zum Teufel gehen die Haare.

Aber was soll man machen. Menschen sind nun mal nicht für die Ewigkeit gebaut. Irgendwann fängt es an zu knirschen und zu ächzen. Altern mit all seinen Begleitkrankheiten ist unumgänglich. Und die letzten Jahrzehnte sind deswegen eher nicht so toll. Wer Glück hat, darf nach der Rente noch ein paar Jahre im Gartenstuhl vor sich hin jammern.

So war es immer. So wird es also auch für immer bleiben.

Falsch.

Die vielleicht größte medizinische Erkenntnis des vergangenen Jahrzehnts lautet: Altern ist formbar. Es kann beeinflusst, beschleunigt, gebremst werden. Vielleicht auch gestoppt, für eine Weile zumindest. Jedenfalls muss für die meisten nicht mit spätestens Mitte 80 Schluss sein. Und das Leben mit 90 muss sich auch nicht miserabel anfühlen.

Wir lernen gerade sehr schnell, was zu tun ist, damit es besser läuft. Wie gesunde 100 erreichbar sind.

Unser Blick auf Altern und Lebenserwartung war bislang durch zweierlei getrübt: Erstens hatten wir bis noch vor wenigen Jahren viele biologische Zusammenhänge nicht verstanden. Etwas zu beeinflussen, was man nicht versteht, scheint unmöglich. Und zweitens war es in der Menschheitsgeschichte eben immer so, dass die späten Lebensjahre durch Siechtum und Krankheit geprägt waren. Warum sollte sich etwas ändern, was seit tausenden Generationen gleich war? Genauso konnte sich auch niemand vorstellen, dass es irgendwann normal wäre, nach Lust und Laune um den Planeten zu fliegen. Oder das Atom zu spalten, um daraus Energie zu gewinnen. Die eigentliche Frage also lautet: Warum sollten Wissensexplosion und technischer Fortschritt überall in der Natur zu radikalen Evolutionssprüngen führen – nur ausgerechnet bei unserem eigenen Körper nicht?

Tatsächlich beherrschen wir zunehmend unsere eigene Biologie, das zeigt sich in vielen Bereichen. Noch in den 1990ern galt Krebs als unheilbar. Gentherapien waren noch vor einem Jahrzehnt Science-Fiction. Und künstliche Intelligenz, die Tumore besser erkennt als Ärzte, hielten Informatiker für Quatsch. All das ist längst Normalität.

Was es bedeutet, alt zu sein, hat sich schon in den vergangenen

170 Jahren dramatisch verschoben. Noch Mitte des 19. Jahrhunderts lag die Lebenserwartung in Europa bei kaum mehr als 40 Jahren. Hygiene, Medizin und soziale Errungenschaften veränderten viel. Bei Geburt im Jahr 1950 lag die durchschnittliche Lebenserwartung in Deutschland immerhin bei knapp 67 Jahren. Sprich: Arbeiten bis zur Rente, und dann bleiben noch zwei, drei Jährchen im Sessel.

So ist es zum Glück für viele nicht gekommen, zwischendrin machte sich erneut der Fortschritt bemerkbar: Der Bypass wurde erfunden und die Chemotherapie, Herzinfarkte und Krebs waren nicht mehr so tödlich. Bürojobs lösten Knochenjobs ab. Viele wurden wohlhabender.

Wer heute Sterbeanzeigen in der Lokalzeitung durchschaut (ja, so was gibt es noch), kann sehen, wo es zuletzt hinging: Viele sterben im Alter von 85, 86, 87. Und das sind die Generationen, die erst in ihrem letzten Lebensdrittel von vielen medizinischen Entwicklungen profitieren konnten. Für die Krieg, Asbestverseuchung und Kettenrauchen normal waren. Allerdings sind heute für etliche Menschen die späten Lebensdekaden nur bedingt erquicklich, sie werden beeinträchtigt von vielerlei Erkrankungen.

Aber es gibt auch in diesen Generationen Menschen, die nicht nur sehr alt werden, sondern dabei weitgehend gesund und vital bleiben. Sogar im Alter von über 100 Jahren. Die sogenannten SuperAger zeichnet aus, dass sie keine der üblichen Alterserkrankungen schwer erwischt, weder Krebs noch Demenz noch Herzprobleme. Sie fallen oft einfach vom einen auf den anderen Tag um. Ich bin einigen dieser faszinierenden Menschen begegnet, die mit 104 noch Fahrrad fahren oder mit 99 Violine spielen, als hätten sie noch nie von steifen Fingern gehört. Alles genetische Glückspilze? Nur sehr bedingt. Tatsächlich macht das Erbgut Schätzungen zufolge lediglich etwa 10 bis 25 Prozent der Lebenserwartung aus.

Wenn wir über längeres Leben reden, kann es aus doppeltem Grund nur um eine längere Gesundheitsspanne gehen, das heißt das Ausbleiben von schweren Krankheiten bis ins hohe Alter. Zum einen will kaum jemand ein Jahrzehnt länger leben, wenn das ein Jahrzehnt voller Krankheit und Schmerzen bedeutet. Länger leben muss heißen: länger vital sein – mit 80 noch Tennis spielen, mit 90 noch wandern, mit 100 noch ein Gläschen Rotwein mit Freunden und Familie und ins Konzert gehen. Die Urenkel aufwachsen sehen. So wie die SuperAger. Und zugleich ist das signifikant längere Leben im Wesentlichen nur möglich, wenn der körperliche Zerfall ausbleibt, der zu Krankheiten führt.

Deswegen ist dies kein Buch über den (Alb-)Traum von der Unsterblichkeit. Und es geht auch weniger um die Frage, wie weit wir die Grenze der menschlichen Lebenserwartung nach hinten verschieben können, ob es noch über die 120 hinausgehen kann (es scheint so). Sondern es geht um vitale Lebensjahrzehnte im hohen Alter, um fitte 100.

Biologisch betrachtet ist Altern ein fortschreitender Verlust der physiologischen Unversehrtheit, mit versagenden Körperfunktionen in allen Organsystemen. Zellen, Gewebe und Erbsubstanz häufen mit zunehmendem Alter Schäden an, die sich gegenseitig verstärken und die der Körper irgendwann nicht mehr selbst reparieren kann. Das ist erst mal nicht so gut.

Allerdings können wir beeinflussen, wie viele Schäden sich anhäufen und wie früh. Wir können etwas gegen den Zerfall tun. Vieles davon ist gar nicht so schwer. Und die Logik dahinter ist auch nicht kompliziert. So wie sich ein Auto 200 000 Kilometer gut fahren lässt, wenn man regelmäßig das Öl wechselt und die wichtigsten mechanischen Teile pflegt. Natürlich ist der Wagen am Ende nicht mehr so frisch, aber er läuft noch ziemlich rund. Oder der Motor raucht schon nach 100 000 Kilometern ab, weil

der Wagen durch jedes Schlagloch geschunden wurde und Wartung und Inspektion ja nur vermeintliche Geldmacherei sind, die man auch lassen kann. Nur wissen wir genau, welche Schrauben und Rädchen man am Auto drehen muss, um sie lange am Laufen zu halten. Die Hebel, um unsere Körper in Schwung zu halten, kannten wir kaum. Mehr noch: Viele meinten, es gebe gar keine. Die biologische Maschine gehe eben einfach irgendwann kaputt, Pech gehabt.

Aber diese Zeit der Unkenntnis ist vorbei.

Schon vor einem Jahrzehnt kündigte sich eine Wissensrevolution an. Sie fällt nicht zufällig zusammen mit dem Moment, als künstliche Intelligenz die Welt zu verändern begann. Als Maschinen lernten, sich durch riesige Datenmengen zu wühlen und zuvor unlösbare Aufgaben in Windeseile zu berechnen. Ich habe das damals aus der Nähe beobachtet, als USA-Korrespondent des SPIEGEL in San Francisco. Eigentlich sollte ich aus dem ganzen Land berichten, aber ich verbrachte fünf Jahre fast ausschließlich im Silicon Valley. Zu sehr fühlte es sich nach einem geschichtsträchtigen Moment an, der den Lauf der Welt verändern würde.

Die datengetriebene Wissensrevolution schlägt inzwischen auf fast alle Bereiche des Lebens durch, aber fast nirgends ist ihre Bedeutung größer als in der Medizin. Sie macht es möglich, dass Krebs mit im Labor erschaffenen Super-Immunzellen behandelt wird, Alzheimer sich per Bluttest entdecken und das gesamte Erbgut eines Menschen in Minutenschnelle analysieren lässt. Dass künstliche Organe demnächst im 3D-Drucker gebaut werden. Von künstlicher Intelligenz getriebene Biotechnologie verändert dramatisch, wie Krankheiten diagnostiziert und therapiert werden. Jennifer Doudna, Nobelpreisträgerin und Entdeckerin der Genschere CRISPR, sagte es mir neulich so: »Ich bin seit Jahr-

zehnten Wissenschaftlerin, aber auch mir kommt es so vor, als erlebten wir gerade einen ganz besonderen Moment: Diese außergewöhnliche Überschneidung von Entdeckungen und Technologie beschleunigt das Tempo der Wissenschaft viel, viel stärker, als ich es je zuvor erlebt habe.«

Die revolutionäre Zukunftsmedizin zahlt zwangsläufig auf unsere Lebenserwartung ein: Allein die kardiovaskuläre Revolution der 1960er Jahre, die viele Herzprobleme behandelbar machte, führte zu einem sichtbaren Sprung in der Lebenserwartung. Nun laufen zahlreiche solcher großen Entwicklungen parallel. Wir beginnen unsere Biologie grundlegend zu verstehen.

Daraus ist 2018 mein Buch *Zukunftsmedizin* entstanden. Ein optimistisches Buch aus amerikanischer Perspektive sollte es sein, über die Möglichkeiten, die der Fortschritt eröffnet, und wie viel schneller sich dadurch die Welt dreht. Ich wollte es dem überkritischen Pessimismus Europas gegenüberstellen, wo so oft zuerst bedacht wird, warum etwas vielleicht nicht funktionieren könnte, wo im Zweifel lieber der Haushalt ausgeglichen wird, als in Bildung, Forschung und Innovation zu investieren.

Inzwischen ist mehr wahr geworden, als selbst meine optimistische Vision aus dem Jahr 2018 hoffen ließ. Eben noch experimentelle Krebsmedikamente wurden zu Standardbehandlungen, erste Gentherapien sind zugelassen, und künstliche Intelligenz hat sich noch viel schneller und weiter entwickelt als geahnt.

Am prägnantesten dürfte der Fall eines damals noch unbekannten Start-ups sein, das ich gleich im ersten Kapitel ausführlich beschrieben hatte, fasziniert von einer neuen Technologie: Sie sollte, so hatten es mir die Chefs des amerikanischen Biotech-Unternehmens 2016 erzählt, den menschlichen Körper zu seiner eigenen Medikamentenfabrik machen. Indem die Zellen direkt Anweisungen einprogrammiert bekommen, was sie herstellen sollen. Allenfalls Science-Fiction, hieß es dazu damals selbst in Fachkreisen,

noch Jahrzehnte entfernt, falls überhaupt je was daraus werde. Nur wenig später rettete diese vermeintliche Science-Fiction-Idee die Welt. Der Name des damals unbekannten Start-ups: Moderna. Die Technologie: mRNA-Impfstoffe.

Wenn wir nun erneut nach vorne blicken, ist es deswegen wichtig, auch das vergangene Jahrzehnt im Auge zu behalten. Es zeigt deutlich, wie viel schneller der Fortschritt voranrast als in den vergangenen Jahrhunderten. Der Wahlspruch internationaler Pessimisten, »Das hat aber noch nie funktioniert«, gilt nicht mehr.

Ausgerüstet mit KI-Algorithmen und Supercomputern, gelang es Forschern im vergangenen Jahrzehnt erstmals, wesentliche Grundlagen des kompliziertesten aller biologischen Prozesse zu entschlüsseln, nämlich das Altern. Zuvor gab es nur Vermutungen, Hinweise, einzelne Erkenntnisse. Nun beginnen wir in erstaunlichem Tempo zu verstehen, welche konkreten zellulären und molekularen Prozesse beteiligt sind – und wie sie zusammenhängen. Längst sind nicht alle Antworten gefunden, aber immerhin eine ganze Liste von klar definierten Kennzeichen des Alterns, von instabilem Erbgut bis zur Fehlfunktion von Zellkraftwerken. So lässt sich inzwischen sogar per Bluttest bestimmen, wie schnell oder langsam der einzelne Mensch altert.

Je besser die zentralen biologischen Prozesse durchschaut werden, desto klarer zeichnet sich ab, wie sie am Laufen gehalten werden können. Wenn man erst einmal weiß, wo das Problem liegt, kann man auch Lösungen entwickeln. Eben noch schien das Altern unaufhaltbar, nun werden ständig neue mögliche Gegenmaßnahmen entwickelt und erprobt, von Stammzellentherapie bis zu Genchirurgie. Manche Forscher wollen das Altern radikal verlangsamen und setzen dazu auf revolutionäre Ansätze, etwa alte Zellen einfach zu jungen Zellen umzuprogrammieren. Andere wären froh, den körperlichen Zerfall zumindest etwas aus-

zubremsen, und hoffen, bereits zugelassene Medikamente auf ihr Anti-Aging-Potenzial zu testen.

Manche solcher Verjüngungsmaßnahmen werden bereits in klinischen Versuchen getestet. Andere probieren experimentierfreudige Biohacker selbst an sich aus.

Die Grenzen zwischen Spitzenforschung und Biohacking verschwimmen dabei mitunter. Longevity – der englische Begriff für Langlebigkeit setzt sich auch hierzulande zunehmend durch – ist ein wissenschaftliches Boomthema wie kaum ein anderes, auch weil sich viele Felder vermischen: Biologie, Gerontologie, Neurologie, Onkologie, Ernährungswissenschaften, Sportmedizin. Um nur ein paar zu nennen.

So viele Informationen werden in die Welt geschwemmt, dass es für die Öffentlichkeit nicht immer leicht ist, auf den ersten Blick auseinanderzuhalten, was wissenschaftlich erwiesen und was Esoterik ist. Und was Geschäftemacherei. Mittlerweile werden immer mehr Pillen und Pülverchen als Longevity-Mittel angeboten, manche auch von bekannten Wissenschaftlern mit eigenen Firmen und Langlebigkeitsprogrammen, die sie mit Podcasts und Büchern vermarkten. Wesentliches Ziel dieses Buches ist es deshalb, einen neutralen Überblick zum Stand der Longevity-Forschung zu geben. Es führt in die angesehensten Forschungslabore der Welt von Heidelberg bis Harvard, in die Unternehmenszentralen des Silicon Valley, zu Nobelpreisträgerinnen und SuperAgern, zu Biohackern und Biochemikerinnen, die sich an ersten Verjüngungspräparaten versuchen.

In den kommenden Jahren und Jahrzehnten, so viel scheint sicher, wird eine Anti-Aging-Medizin entstehen, getrieben von neuen Biotechnologien und befeuert von etlichen Milliarden an Investorengeldern, die ohne Unterlass in ihre Entwicklung gepumpt werden.

Das ist der eine Ansatz: Hightech gegen das Altern.

Es gibt aber auch einen noch naheliegenderen und scheinbar simpleren Ansatz: den eigenen Lebenswandel. Wie wir essen und uns bewegen, wie wir schlafen, unseren Stress kontrollieren, die mentale Gesundheit pflegen und uns mit Freunden und Familie umgeben. Vieles davon mag wenig überraschend wirken, wissen wir doch schon lange, dass Chips und Schweinebraten und Bier eher nicht so hilfreich sind wie Brokkoli und Vollkornbrot. Dass Übergewicht und Bewegungsmangel nicht gerade das Leben verlängern.

Doch es gibt neue Erkenntnisse, was einen effektiven Longevity-Lebenswandel ausmacht. Auf der Suche nach den zellulären und molekularen Mechanismen, die das Altern beeinflussen, kamen die Forscher auf zentrale Informationswege, die dem Körper anzeigen, wie er mit Energie versorgt wird. Sie fanden heraus, welche biochemischen Prozesse dabei eine Rolle spielen und wie sich teils seit Jahrhunderten bekannte Maßnahmen wie das Fasten auf molekularer Ebene auswirken. Warum Sport die Zellkraftwerke in Gang bringt und die DNA-Reparatur beeinflusst. Wie enge Freundschaften die Gehirngesundheit fördern, weil die Synapsen erhalten bleiben.

Das sind extrem gute Nachrichten: In erster Linie liegt ein langes, gesundes Altern also in unserer eigenen Hand, Wege dorthin gibt es genug, man muss sie nur kennen und zusammenbringen und ihre Wirkung verstehen. Lebensgewohnheiten lassen sich leichter verändern, wenn man genau weiß, warum. Sicher ist: Es geht dabei nicht um ein paar Monate mehr, sondern um Jahrzehnte.

Das Projekt Lebensverlängerung ist also beides: eine Aufgabe für Wissenschaftlerinnen, Mediziner, Biologinnen und Informatiker, aber auch ein Projekt für jeden Einzelnen. Auch für mich.

Wenn man erst einmal beginnt, sich mit der Biologie des Alterns zu befassen, ist es fast unmöglich, die Welt noch mit den gleichen Augen zu sehen. Das geht vielen Medizinern so, das ging

auch mir so. Ich bin weder Gesundheitsfanatiker noch Biohacker. Dazu trinke ich viel zu gerne ein Helles im Biergarten und möchte das Grillwürstchen an einem lauen Sommerabend nicht missen. Joggen finde ich furchtbar langweilig und Fitnessstudios anstrengend. Aber natürlich würde ich gerne auch noch meinen Enkelkindern das Skifahren beibringen und die Rentenjahre nicht auf dem Sofa verbringen, sondern durch den brasilianischen Regenwald wandernd.

Das Projekt Lebensverlängerung ist also auch eine persönliche Reise, die gar nicht so geplant war. Begonnen hat sie schon vor rund einem Jahrzehnt, als meine Hausärztin in San Francisco Prädiabetes diagnostizierte. Und zehn Kilo Übergewicht. Und schlechte Blutwerte. Das Ergebnis von vielen Jahren Dauerstress, Überarbeitung und drei Geschäftsessen jede Woche. Damals schon sagten mir befreundete Alzheimer- und Krebsforscher gleichermaßen: Tu was dagegen, sonst bekommst du richtige Probleme. Aber mit 40 hörte ich nur halb hin.

Während der Entstehung des Buches habe ich nun aber die Gelegenheit ergriffen, viele Forschungserkenntnisse selbst anzuwenden. Anders zu essen, mehr und anders zu trainieren und ja, auch das eine oder andere Supplement auszuprobieren. So viel vorweg: Die Zwischenergebnisse sind ermutigend. 50 beginnt sich langsam wieder mehr wie 40 anzufühlen.

Ich hoffe mit diesem Buch Menschen zu erreichen, die wie ich selbst am Ende genauer hinschauen, was für ein vitales hohes Alter jetzt schon zu tun ist. Dazu muss nicht jahrzehntelang spaßbefreit und asketisch gelebt werden. Aber es gilt sich vorzubereiten, sowohl auf das eigene vielleicht deutlich längere Leben als auch auf eine Gesellschaft der Hundertjährigen. Für die wir längst nicht bereit sind.

Mit dem neuen Verständnis von Altern und Langlebigkeit fangen die großen Fragen erst an. Was tun mit den gewonnenen guten

Jahren? Bislang waren die meisten Menschen auf zehn, 15 Jahre Rente eingestellt, in denen sie fit genug sind, um zu reisen und sich um die Enkel zu kümmern. Schon jetzt ist gesellschaftlich spürbar, dass es für immer mehr Menschen 20 aktive Jahre werden. 30 Jahre wären bereits ein Gamechanger: Fast ein Drittel des Lebens stünde nach Ende der Arbeitszeit noch bevor.

So werden ganz andere Lebensentwürfe denkbar, mit zwei, drei Karrieren. Auch zweiten, dritten Familien? Was tun wir dafür, dass die gewonnene Zeit eine gute wird? Viele Menschen sind gerade im Alter einsam. Hinzu kommen Generationenkonflikte und Ressourcenfragen.

Und wie soll das lange Leben bezahlt werden? Das Rentensystem funktioniert jetzt schon nicht mehr. Arbeiten wir dann einfach sukzessive immer länger, bis 75, bis 80? Finanzielle Vorsorge, individuelle wie gesellschaftliche, muss neu gedacht werden.

Die Fünfjährigen von heute werden jedenfalls anders altern als alle Generationen zuvor. Langsamer, krankheitsfreier, begleitet von einer personalisierten Hightech-Medizin. Es wird dringend Zeit, uns vorzubereiten.



1

IST ALTERN EINE KRANKHEIT?

Wie eines der größten Geheimnisse der Biologie entschlüsselt wird

Der Campus der Harvard University ist ein malerischer Ort: rote Backsteinbauten mit weißen Türmen, neoklassizistische Säulengänge, lange Reihen von Ulmen und Ahornbäumen, die sich im Indian Summer von New England leuchtend rot verfärben. Harvard, gegründet 1636, ist eine der großen amerikanischen Eliteuniversitäten, aber mehr noch eines der führenden Wissenschaftszentren der Welt. Fast an jeder Ecke trifft man berühmte Forscher aus verschiedensten Disziplinen, allein 50 Nobelpreisträger lehren hier aktuell. In unmittelbarer Nähe liegen gleich mehrere weitere Universitäten von Weltrang, etwa das Massachusetts Institute of Technology (MIT). Viele Forschungsunternehmen haben sich in Laufweite angesiedelt. Es ist ein faszinierender und sehr spezieller Mikrokosmos aus Spitzenforschung und Ambitionen, manchmal auch Arroganz. Für eine Weile konnte ich das aus der Nähe beobachten, auch selbst hier forschen, als Visiting Scholar. Mein Gast-Institut, das Center for European Studies, liegt gleich im Zentrum nahe dem parkähnlichen Harvard Yard, aber besonders

gerne überquerte ich den Charles River, hinüber nach Boston. Neben drei riesigen Krankenhäusern findet sich dort der Campus der Harvard Medical School, dominiert von einem tempelähnlichen neoklassizistischen Säulenbau aus weißem Marmor. Inzwischen gibt es ein paar Meter weiter in der Avenue Louis Pasteur einen neuen Glasbau für einen besonders schnell wachsenden Forschungsbereich: Im neunten Stock residiert hier das Paul Glenn Center for Biology of Aging Research, Fachbereich Genetik. Wie der Name schon ahnen lässt, forschen hier Wissenschaftler an den biologischen Grundlagen des Alterns. Darunter viele Medizinerinnen und Biologen von Weltrang. Keiner von ihnen aber hat das vergleichsweise junge Feld der Langlebigkeitsforschung wohl so geprägt und verändert wie der Genetik-Professor David Sinclair. *Time* wählte ihn unter die 100 einflussreichsten Menschen der Welt. Sein 2019 veröffentlichtes Buch *Lifespan: Why We Age – and Why We Don't Have to* gilt als Standardwerk der Langlebigkeits- und Alternsforschung. Auch wenn längst nicht alle Wissenschaftler mit Sinclairs Schlussfolgerungen übereinstimmen.

Altern gilt gemeinhin als ein physiologischer Vorgang und nicht als Krankheit. Sinclair sieht das ganz anders: »Altern führt zu einem körperlichen Verfall. Es schränkt die Lebensqualität ein. Und es hat eine spezifische Pathologie.« Damit, sagt Sinclair, erfülle es »jedes Kriterium dessen, was wir als Krankheit bezeichnen.« Der Genetiker ist überzeugt, dass es unsinnig sei, jede Krankheit einzeln zu bekämpfen, um eine längere gesunde Lebensspanne zu erreichen. Für jede Krankheit einzeln nach den Ursachen zu suchen. Klar ist: Im Alter treten verstärkt chronische Erkrankungen auf, häufig auch gemeinsam. Das nennt sich Multimorbidität und erhöht die Sterblichkeitsrate enorm. Und umgekehrt: Wenige Fünfundzwanzigjährige leiden an Alzheimer, Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Krebs. Alle führenden Todesursachen sind am Ende Alterserscheinungen. »Nur eine dieser Krankheiten aufzu-

halten, würde keinen großen Unterschied machen«, sagt Sinclair. »Die Definition von Krankheit unterscheidet sich nicht von der des Alterns: ein Rückgang der Gewebefunktion, der zu nicht optimaler Funktion und Behinderung führt.« Altern müsse als Krankheit anerkannt werden, »um die Aufmerksamkeit auf die Tatsache zu lenken, dass das Altern die Hauptursache der meisten schweren Krankheiten ist.« Und mehr noch: »Dass die einzige Möglichkeit, die Lebensspanne spürbar zu verlängern, darin besteht, die Hauptursache zu bekämpfen. Wenn Altern eine Krankheit ist, dann können Wissenschaftler Medikamente entwickeln, um sie zu behandeln, und Ärzte können ihren Patienten Medikamente verschreiben.« Er sei überzeugt: »Altern ist behandelbar.«

Sinclair ist sich dabei durchaus bewusst, dass dies eine radikale Abkehr vom bisherigen Blick auf die menschliche Biologie bedeutet – und von der Art, wie Medizin praktiziert wird. Praktiken, die sich nicht zuletzt so entwickelt hätten, »weil wir nicht wussten, wie Altern vonstattengeht«. Dennoch trägt Sinclair seine Argumente so ruhig und gelassen und mit geschmeidigem Ton vor, als verkünde er Binsenwahrheiten. Vielleicht liegt es an seiner jungenhaften Ausstrahlung. Wie Mitte 50 wirkt er jedenfalls ganz sicher nicht. Sondern Jahrzehnte jünger, erstaunlich faltenfrei, dynamisch und durchtrainiert. Wahrscheinlich ist jugendliches Image ein Muss für einen führenden Langlebigkeitsforscher, der seit Jahrzehnten nach immer neuen Mitteln und Methoden sucht und sie explizit auch an sich selbst testet.

Wäre es nicht trotzdem sinnvoll, sich mit dem medizinischen Fortschritt zunächst auf die Kontrolle der großen Volkskrankheiten wie Krebs oder Diabetes zu konzentrieren, statt sich in einen Kampf gegen das Altern zu stürzen? »Wir können doch beides machen«, sagt Sinclair. Er gibt oft so knappe Antworten. Zum einen kommt er gerne direkt auf den Punkt, zum anderen mangelt es ihm sichtbar an Zeit. Interviews mit ihn zu führen ist dieser

Tage nicht ganz leicht: Als Harvard-Professor mit eigenem Forschungslabor hätte er ohnehin schon genug zu tun, aber seitdem sich Longevity zu einem immer größeren Thema unter Fachleuten wie in der Öffentlichkeit entwickelt, wird ihm die Tür eingerannt mit täglichen Anfragen für Vorträge und neue wissenschaftliche Kollaborationen. Zudem hat Sinclair mittlerweile über ein halbes Dutzend Unternehmen gegründet, die an Langlebigkeit forschen. Oder Zusatzstoffe verkaufen, die laut Sinclairs Erkenntnissen Anti-Aging-Effekte haben sollen. Und das sind inzwischen einige. Sinclair, geboren und aufgewachsen in Australien, forscht seit rund 30 Jahren auf dem Gebiet des Alterns. Am MIT arbeitete er als zunächst am Werner-Syndrom, benannt nach dem deutschen Arzt Otto Werner: Betroffene des genetischen Defekts fühlen sich mit 30 schon wie 80. Ihr Körper altert viel schneller.

Mit seinem Labor in Harvard konzentriert sich Sinclair nun auf die von ihm und seinen Mitarbeitern entwickelte »Information Theory of Aging«, wie er es nennt: »Die Vorstellung, dass wir alt werden, weil die Zellen im Laufe der Zeit Informationen verlieren. Und dass es eine Sicherungskopie der jugendlichen Informationen gibt, mit der das System zurückgesetzt werden kann.« Über diese Informationstheorie des Alterns wird später im Kapitel 4 noch detaillierter zu sprechen sein. So viel aber schon an dieser Stelle: Sie beruht auf vielen in den vergangenen Jahren neu entdeckten biologischen Mechanismen, insbesondere den sogenannten »Langlebigkeitsgenen«. Was ein wenig irreführend ist, denn es klingt so, als bestimme im Wesentlichen das Erbgut, wie lange wir leben. Tatsächlich trägt die individuelle genetische Veranlagung zunächst nur geschätzte 10 bis 25 Prozent zur Lebenserwartung bei. Dazu gehört etwa, ob wir erblich bedingt anfälliger sind für Herzleiden, schwache Nieren haben oder ein starkes Immunsystem. Aber darüber hinaus gibt es einzelne konkrete Gene, die in vielen Organismen grundsätzlichen Einfluss darauf haben, wie lange sie

leben. Und wie gesund sie sind. Diese Gene finden sich in vielen Säugetieren, auch im Menschen. Sinclair beschreibt sie als eine Art »Überwachungsnetzwerk« des Körpers, das zum Beispiel genau registriert, wie wir essen, uns bewegen und wie viel Schlaf wir bekommen. Und das entsprechend Zellen und Organen mitteilt, wie darauf zu reagieren ist. Sinclair nennt sie deswegen auch »Vitalitätsgene«. Sie bilden also kein starres System, keine unveränderbare erbliche Veranlagung, sondern sind bewegliche Schaltstellen der Lebenserwartung, beeinflussbar durch unser Verhalten und Medikamente. Sinclair entdeckte schon 2003 die besondere Rolle von Molekülen, mit denen sich eine der wichtigsten dieser Schaltstellen bedienen und die Lebenserwartung beeinflussen lässt: die sogenannten Sirtuine. Das sind spezielle Enzyme, die eine erstaunlich große Rolle in vielen zellulären Prozessen des Körpers spielen und sogar Gene ein- und ausschalten. Was weitgehend unbekannt war, bis Sinclair begann, ausgiebig an den Sirtuinen zu forschen. Befeuert durch eine zentrale von den Harvard-Forschern gemachte Entdeckung: Sirtuine lassen sich stimulieren. In einer Studie lebten Hefezellen bis zu 80 Prozent länger, wenn das Sirtuin SIRT1 mit sogenannten Polyphenolen aktiviert wurde, also mit Pflanzenstoffen, die bereits für ihre entzündungshemmenden und antioxidativen Fähigkeiten bekannt waren. »Wir glauben, dass Sirtuine den Zellen Zeit verschaffen, um Schäden zu reparieren«, kommentierte Sinclair damals als Mitautor der Studie. »Im Bereich des Alterns wächst die Erkenntnis, dass die Blockierung des Zelltods – solange sie nicht zu Krebs führt – die Lebensspanne verlängert.« Aufsehen erregte die Studie auch deswegen, weil insbesondere ein Polyphenol lebensverlängernd auf die Zellen zu wirken schien: Resveratrol. Es findet sich in Weintrauben und ist entsprechend auch in Wein vorhanden. Was dazu führte, dass der angeblich gesundheitsförderliche Ruf von Rotwein noch einmal einen kräftigen Schub bekam. Allerdings müsste man schon

kistenweise Rotwein in sich hineinschütten, um auf lebensverlängernde Mengen Resveratrol zu kommen.

In den folgenden Jahrzehnten entdeckte Sinclair noch eine Reihe weiterer Stoffe, die direkten Einfluss auf die Biologie des Alterns haben. Eine ganze Reihe solcher Stoffe sind inzwischen im Fokus intensiver Forschungen vieler Labore und Unternehmen, darunter Moleküle wie NAD+ oder Rapamycin. Sie werden in Kapitel 8 ausführlich diskutiert. Der eigentliche Punkt sei am Ende dieser, betont Sinclair: Die Vitalitätsgene können auf ganz verschiedene Weise aktiviert werden. Durch Arzneistoffe. Aber auch durch Essverhalten und Sport.

Sinclair will dem Altern vor allem das Fatalistische nehmen: Dass die zweite Lebenshälfte zwingend so verlaufen muss, wie es bislang tausende Generationen von Menschen erlebt haben. Mit einem immer gebrechlicheren Körper, einem sich auflösenden Gehirn. Und dem Gedanken, dass ab dem 70. Geburtstag so langsam Schluss mit lustig sei. »Was, wenn das einfach nicht so sein muss? Wenn wir nicht Jahre, sondern Jahrzehnte länger jung sein könnten? Und die finalen Jahre des Lebens nicht mehr so fürchterlich anders wären als die Zeit davor?« Der Weg zu einem längeren Leben könne nur so gegangen werden: »Durch eine immer größere Gesundheitsspanne, den Teil unseres Lebens, den wir ohne Krankheit und Behinderung verbringen.«

Aber ganz einfach ist das alles nicht. Das grundsätzliche Problem liegt darin: Altern ist der komplizierteste und vielleicht auch am wenigsten verstandene biologische Prozess. Ein so großer, umfassender und vielseitiger Vorgang, der sich an tausenden Orten im Körper gleichzeitig abspielt, die alle irgendwie zusammenhängen. Was definiert diesen Prozess? Um es allgemein zu sagen: »Ein fortschreitender Verlust der physiologischen Unversehrtheit, der zu funktionellen Beeinträchtigungen und einer erhöhten Sterbe-

wahrscheinlichkeit führt.« So haben es führende Biologen und Mediziner gemeinsam definiert, in einem bis heute wegweisendem Aufsatz über die Kennzeichen des Alterns, erschienen 2013 im Wissenschaftsjournal *Cell*. Dort heißt es: »Dieser Zerfall ist der größte Risikofaktor für menschliche Pathologien, inklusive Krebs, Diabetes, Herzerkrankungen.«

Eigentlich zerfällt unser Körper jeden Tag. Eine Million Zellen sterben jede Sekunde in unserem Körper ab, so hat es das schwedische Karolinska-Institut berechnet. Das israelische Weizmann-Institut kommt sogar auf 330 Milliarden täglich absterbende Zellen. So oder so: eine Menge. Und das ist gut. Unser Körper besteht insgesamt aus rund 30 Billionen Zellen, sie fügen sich zusammen zu Muskeln, Knochen, Fett, Organen, sie sind im Blut unterwegs und im Darm. Je nachdem wofür sie gebraucht und wie sie beansprucht werden, sind die Zellen irgendwann so fix und alle wie ein Stürmer, der im Fußball-WM-Finale 120 Minuten durchgespielt hat. Sie werden durch neue, frische ersetzt. Dieser Zellaustausch ist der natürliche Verjüngungsprozess, der dafür sorgt, dass wir nicht schon ein paar Jahre nach der Geburt wieder umfallen.

Irgendwann gehen dem Körper aber die Auswechselspieler aus. Und die ganze Mannschaft wird immer schlapper. Das Herz schlägt nicht mehr so kraftvoll. Die Organe werden schlechter durchblutet. Die Nieren waschen Giftstoffe nicht mehr effizient heraus. Wir sehen schlechter, weil die Augenlinse nicht mehr so flexibel ist. Wir hören schlechter, weil in den Ohren weniger Haarzellen sitzen. Wir röcheln auf dem Weg die Treppe hinauf, weil es weniger Lungenbläschen gibt. Die Muskeln nehmen ab. Die Liste ließe sich noch sehr lange fortschreiben.

Der Zerfall beginnt auch nicht erst mit der Rente, sondern schon kurz nach dem Schulabschluss. Ab dem 20. Lebensjahr geht es bergab, zuerst kaum merklich, innerlich wie äußerlich, mit den ersten kleinen Fältchen. Dann immer schneller. Wie schnell genau

es geht, variiert von Mensch zu Mensch. Das ist erst einmal eine sehr gute Nachricht. Alterung ist also kein Prozess, der in ganz starren, unbeeinflussbaren Bahnen verlaufen würde. Der immer genau gleich sein muss, deterministisch, dem wir nur schicksalsergeben zusehen können. So ist es nicht.

Man muss nur ins Tierreich schauen. Die Eintagsfliege lebt wenige Stunden. Der Grönlandhai dagegen 400 Jahre. Die Lebensspanne variiert auch bei artverwandten Tieren stark. Papageien zum Beispiel: Kakadus werden bis zu 60 Jahre alt, Wellensittiche eher zehn. Weil Wellensittiche kleiner sind und kleine Organismen nicht so lange durchhalten? Die sibirische Bartfledermaus wiegt nur zehn Gramm und lebt bis zu 40 Jahre. Andere, viel größere Fledermausarten schaffen dagegen nur zehn Jahre. Manche Tiere sterben direkt nach der Fortpflanzung, so wie die pazifische Riesenkrake. Einige, meist deutlich einfachere Tierarten wie die Seeanemone scheinen gar nicht zu altern. Um es kurz zu machen: Es gibt keine einfachen Antworten und schon gar keine ganz klar auf der Hand liegenden Regeln, was die Länge des Lebens bestimmt und wie das Altern aufzuhalten ist.

Für David Sinclair, den Harvard-Genetiker, lässt sich nur eines klar feststellen: »Es gibt kein biologisches Gesetz, dass wir altern *müssen*.« Das sehen manche Wissenschaftler anders. »Die wissen nicht, wovon sie reden«, sagt Sinclair. Zumindest in diesem Sinne hat Sinclair recht: Ein klares Naturgesetz, das den Alterungsprozess mit einem festgelegten Ende vorschreibt, hat noch niemand entdeckt.

Aber es gibt Stellschrauben. Wissenschaftler finden immer mehr von ihnen: von Sinclairs Vitalitätsgenen bis zu Enzymen, die stressabwehrend wirken. Moleküle, die den Stoffwechsel regulieren. Signalwege, die steuern, wie sich Zellen teilen. Sinclair hält es deswegen für ineffizient, sich an einzelnen Krankheiten abzuarbeiten, wenn es doch möglich werden könnte, viele Altersleiden gleich-

zeitig anzugehen. Menschen über 80 leiden statistisch an mehreren Krankheiten gleichzeitig oder direkt aufeinanderfolgend, von Krebs über Alzheimer bis Herzschwäche. »Das Alter ist der größte Risikofaktor bei allen«, sagt Sinclair, und hier stimmen ihm viele Mediziner zu. Die Arbeiten in seinem Labor hätten gezeigt, dass das Tempo des Alterns nicht unaufhaltsam oder vorbestimmt ist, sondern durch eine Reihe von Maßnahmen verlangsamt und sogar umgekehrt werden kann.

Sinclair, dessen Positionen manchmal radikal, zumindest aber provokant sind, ist mit diesem Grundgedanken nicht mehr allein. Im Gegenteil. Die führenden Alternsforscher aus verschiedenen Disziplinen – von Neurobiologie über Gerontologie bis Krebsforschung – stimmen mittlerweile überein, dass Alterungsprozesse zumindest verlangsamt, vielleicht auch aufgehalten und zurückgedreht werden können. Dutzende von ihnen aus aller Welt, darunter zahlreiche Nobelpreisträger, bekannte Alzheimer-Expertinnen und Medizin-Professorinnen, haben sich 2019 in einer Forschungsgemeinschaft zusammenschlossen, der Academy for Health and Lifespan Research. Das Ziel: »Die Wurzeln von altersbedingten Krankheiten zu behandeln, nicht die Symptome.« Im Idealfall so, dass sie gar nicht erst entstehen.

Auch Adam Antebi wurde als einer der weltweit bedeutendsten Alternsforscher in die Akademie aufgenommen. Er ist wie Sinclair US-Amerikaner. Und er leitet ebenfalls eines der global führenden Institute für Alternsforschung: Es hat seinen Sitz gleich neben der Uniklinik am westlichen Rand der Kölner Innenstadt. 2007 hat die Max-Planck-Gesellschaft das Institut für die Biologie des Alterns gegründet mit dem Auftrag, »den natürlichen Alterungsprozess zu verstehen und herauszufinden, wie man in diesen Prozess eingreifen und altersbedingte Erkrankungen lindern oder sogar verhindern kann«. Dieser Teil von Köln mag nicht so pittoresk

sein wie der Harvard-Campus, aber dafür wirkt der preisgekrönte Bau des deutschen Max-Planck-Instituts frischer und moderner. Der Weg zu Adam Antebis Büro führt durch ein dreieckiges Atrium vorbei an verglasten Laboren, in denen hunderte Mediziner, Bioloinnen, Informatiker in wechselnden Zusammensetzungen an Hightech-Gerätschaften hantieren. Sie arbeiten vor allem an drei Themengebieten: Welche Rolle die Genetik beim Altern spielt, wie das Gehirn altert und wie der Stoffwechsel im Alter reguliert wird.

»Zu definieren, was Altern ausmacht, ist um einiges herausfordernder als andere biologische Prozesse oder altersbezogene Krankheiten wie Alzheimer«, sagt Antebi. Er forscht seit über 30 Jahren am Altern, seitdem er am MIT in Biologie und Medizin promovierte. Was ist die wichtigste grundlegende Erkenntnis, die sich für ihn über die Jahrzehnte herauskristallisiert hat? »Altern ist formbar, sehr sogar«, sagt Antebi. »Es wird durch Gene beeinflusst, aber auch durch die Umwelt, durch Ernährung, Bewegung, Schlaf und noch eine ganze Reihe anderer Dinge.« Antebi, stets freundlich und verbindlich, hat die 60 bereits selbst überschritten und erfährt nun immer öfter mal die typischen kleineren und größeren Wehwehchen, zu denen er schon so lange forscht. Nur weiß er, dass sie ihren Ursprung meist schon früher haben. »In den Fünfzigern beginnen wir meist, unser Alter richtig zu spüren«. Und für viele fühle sich das an, als ob sie beginnen, langsam auseinanderzufallen. Aber eigentlich zeigten sich nur die Symptome eines schon lange laufenden Entwicklungsprozesses.

Warum hat sich die Evolution diesen physiologischen Zerfall überhaupt einfallen lassen? Welchen Zweck erfüllt Altern? Denn ansonsten sind Organismen doch auf das Gegenteil bedacht: mit allen Mitteln das Überleben zu sichern. Evolutionsbiologen haben dafür – meist bereits weit im vergangenen Jahrhundert – allerlei Begründungen entwickelt, mit so schönen Namen

wie »Mutationsakkumulationstheorie« oder »antagonistische Pleiotropie«. Sie unterscheiden sich in zahlreichen Details, aber, sagt Antebi, am Ende lässt sich nach heutigem Stand der Forschung eine Schlussfolgerung ziehen: Aus evolutionärer Sicht ist Altern »ein Nebeneffekt« anderer biologischer Ziele. »Also kein zielgerichteter uns einprogrammierter Prozess, sondern die Konsequenz anderer Prozesse, die davor stattfinden.« Etwa, dass Fortpflanzung das wichtigste Ziel eines Organismus ist und die natürliche Auswahl der Evolution sich darauf ausgerichtet hat, nur bis dahin die überlebenswichtigen zellulären Prozesse auf voller Kraft zu fahren. Wenn nach einer gewissen fruchtbaren Zeit Nachkommen gesichert scheinen, ist das Überleben des Organismus nicht mehr so wichtig. Die zellulären Prozesse verfallen. Möglicherweise spielen dabei noch andere evolutionäre Ziele eine Rolle, etwa Überbevölkerung zu vermeiden.

Im Umkehrschluss bedeutet das jedenfalls auch: Wenn Altern nur Nebeneffekt und kein biologisch zwingender Selbstzweck ist, dann sollte sich der Prozess stoppen oder umkehren lassen. Das, sagt Antebi, sei die große Frage: »Wenn Altern einfach die Fortsetzung eines laufenden Entwicklungsprogrammes ist, das nicht angehalten wurde, wie können wir dann den Stopp-Knopf drücken?« Und, besser noch, wie kann der Rückwärtsgang eingelegt werden? Aber dazu müssen wir zunächst wissen, an welchen Rädchen genau gedreht werden muss.

Seit Jahrzehnten wird diskutiert, teils auch gestritten, was genau Altern denn entscheidend ausmacht. Gene? Zellverschleiß? Freie Radikale? Viele sich aufaddierende Schäden? Chronische Entzündungen? Viele Einzeltheorien schwirrten umher, alle litten an einem Manko: Wir wussten zu wenig. Die Forschung stand noch am Anfang. Das hat sich geändert. 2013 wurden alle wissenschaftlichen Erkenntnisse erstmals in einem übergreifenden Konzept zusammengeführt. Diese *Hallmarks of Aging*, also Kennzeichen des

Alterns, gaben einen Überblick zu allen grundlegenden zellulären und molekularen Prozessen. Zusammengetragen wurden sie federführend von fünf Wissenschaftlern, darunter auch die englische Genetikerin Linda Partridge. Sie war bis zu ihrer Pensionierung 2023 Antebis Co-Direktorin am Kölner Max-Planck-Institut.

Inzwischen sind noch weitere Erkenntnisse hinzugekommen. Fast 300 000 wissenschaftliche Artikel und Studien haben sich innerhalb nur einer Dekade mit dem Thema befasst. Mit welchem Wissenschaftler man auch zu Longevity und Altern spricht, sie alle beziehen sich immer wieder auf diese 12 Kennzeichen. Auch, »weil sie zusammenhängen und sich gegenseitig beeinflussen«, betont Antebi, bevor er einen erläuternden Rundgang durch die Kennzeichen beginnt. Vor allem aber, weil es nun darum geht, in sie einzugreifen, sie aufzuhalten. Bei manchen scheint das einfacher als bei anderen. Die zwölf *Hallmarks of Aging* näher zu betrachten, hilft jedenfalls zu verstehen, welche weiteren Wege es im Projekt Lebensverlängerung zu beschreiten gilt. Und welche Gegenmaßnahmen vielversprechend sind. (Wer tief einsteigen will in die wissenschaftlichen Details, kann sie nachlesen in der Ausgabe vom 19. Januar 2023 des Journals *Cell*.)

1. Instabiles Erbgut

Unser Erbgut wird ununterbrochen beschädigt: Sei es durch Chemikalien und Sonnenstrahlen oder Fehler bei der DNA-Replikation. Bis zu einer Million Mal am Tag kann etwas kaputt gehen. Deswegen sind Zellen hocheffiziente Reparaturmaschinen. Aber auch nicht zu 100 Prozent perfekt. An der einen oder anderen Stelle wird mal eine Mutation übersehen oder ein Defekt in der Kernarchitektur, ein kleines Stückchen Erbinformation gelöscht. Mit der Zeit häufen sich die Schäden. Mit allen möglichen Folgen: Zellen mutieren zu Tumoren. Organe laufen nicht mehr

richtig rund. Am wichtigsten vielleicht: Je älter wir werden, umso schlampiger werden die DNA-Reparaturmechanismen. Die Fehler beginnen sich zu häufen. Was wäre also, wenn man die körpereigene Werkstatt wieder auf Trab bringen könnte?

2. Verschlissene Telomere

Die für alle Körperprozesse wichtigen Bauanleitungen sind in den Chromosomen gespeichert. Damit diese Informationszentren geschützt sind, haben sie Schutzkappen an ihren Enden – die Telomere. Mit der Zeit verschleißen die Telomere, sie werden kürzer und kürzer. Irgendwann sind sie so abgenutzt wie ein Schuh mit durchgelaufener Sohle. Für die betroffene Zelle bedeutet das: Hier geht nichts mehr. Sie hört auf, sich zu teilen, und stirbt oder entzündet sich. Allerdings gibt es ein Enzym, das diesen ganzen Prozess verhindert, so dass die Schutzkappen sich nicht abnutzen. Es heißt Telomerase und kann sogar bereits zu kurze Telomere wieder länger machen. Allerdings stellt der Körper dieses Enzym nicht im großen Stil selbst her. Forscher experimentieren deswegen damit, Telomerase per Gentherapie zu aktivieren und damit Alterserkrankungen aufzuhalten.

3. Epigenetische Veränderungen

Was uns Menschen grundsätzlich ausmacht, speichern die Gene. Wie sich aus diesen Erbinformationen aber der einzelne Mensch mit seinen vielen unterschiedlichen biologischen Ausprägungen entwickelt, steuert noch ein weiteres System: die Epigenetik (vom griechischen *epi* = darüber). Ein kompliziertes Zusammenspiel von chemischen Verbindungen regelt, wie und welche Erbinformation aktiviert und ausgeprägt wird. Ein bisschen wie ein Fußballtrainer, der zwar die Mannschaft nehmen muss, die ihm

gegeben wurde, der aber bestimmt, wer wann spielt und auf welcher Position. Dabei spielen insbesondere Enzymsysteme eine Rolle, die Details sind ein eigenes riesiges Forschungsfeld. Professor Thomas Jenuwein vom Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik in Freiburg hat es vereinfacht sehr schön so auf den Punkt gebracht: »Die primäre Information, die einen Menschen ausmacht, ist zwar die Gensequenz, sonst wären eineiige Zwillinge nicht genetisch identisch und sich äußerlich so ähnlich. Doch epigenetische Veränderungen sorgen dafür, dass beispielsweise nur ein Zwilling anfällig für Diabetes wird.« Das Genom, unsere Erbinformation, bleibt also gleich, das Epigenom dagegen »verändert sich als Reaktion zum Beispiel auf Ernährung, Medikamente oder Stress«, sagt Antebi. Das muss sein, damit sich die Zelle an Umweltveränderungen anpassen kann. Die Modifikation des Epigenoms wiederum beeinflusst die Alterung. Dabei gibt es einen spezifischen Vorgang, der im Mittelpunkt vieler Untersuchungen steht: DNA-Methylierung. Sich den Fachbegriff zu merken, lohnt sich. Durch diesen chemischen Prozess werden bestimme Gene an- oder ausgeschaltet. Das spielt eine zunehmende Rolle in der Krebsforschung. Und bei einer Entdeckung, über die später noch ausführlich zu sprechen sein wird: Anhand der DNA-Methylierung lässt sich das biologische Alter eines Menschen messen.

4. Unfitte Proteine

Proteine sind der Kern unserer Biologie, die Arbeitspferde, die nahezu alle unsere Körperfunktionen antreiben. Rund 22 000 Protein-Bauanleitungen sind im menschlichen Genom enthalten, jeden Tag werden darauf basierend Billionen von Proteinen im menschlichen Körper hergestellt. Sie müssen also stets gut in Schuss gehalten werden. Diese Proteinfitness nennt sich Proteostase.

Verschiedene Systeme sorgen dafür, dass die Proteine richtig zusammengebaut werden. Und sie müssen recycelt werden, wenn sie beschädigt sind, über einen Prozess, der sich Autophagie nennt (altgriechisch *autóphagos* = sich selbst verzehrend). Laufen die Fitnesssysteme nicht mehr, sammeln sich kaputte Proteine, manchmal verklumpen sie. Das lässt sich insbesondere bei Alzheimer beobachten. Die gute Nachricht: In Studien lässt sich die Proteostase zumindest in Teilen wieder ankurbeln. Bei Tiermodellen wirkt das direkt lebensverlängernd, für Menschen wird das in Medikamenten getestet.

5. Gestörte Autophagie

Die oben erwähnte Selbstreinigung per Autophagie wird von mehreren Genen gesteuert. Mit zunehmendem Alter werden diese immer weniger aktiv. Zahlreiche Versuche zeigen, dass Organismen deutlich schneller altern, wenn man die Autophagie absichtlich hemmt. Und offenbar werden auch Krankheitserreger schlechter abgebaut. Im Gegenzug wurden in besonders langlebigen Menschen außergewöhnlich hohe Selbstreinigungskräfte der Zellen festgestellt. Und es gibt Möglichkeiten, den Prozess anzuschieben: Sowohl durch Ernährungsverhalten als auch durch Zusatzstoffe.

6. Gestörte Nährstoffwahrnehmung

Der Körper hat im Laufe der Evolution ein ausgefeiltes Informationsnetzwerk entwickelt, um genau zu beobachten, wie er mit Nährstoffen versorgt wird. Es registriert nicht nur, ob es genug zu essen gab, um auf die Jagd zu gehen (oder den Tag im Büro durchzustehen). Sondern bis ins kleinste Detail, ob die richtigen chemischen Bausteine vorhanden sind, um die Zellen gut zu versorgen. Das ergibt Sinn, denn Zellen müssen ihr Wachstum und ihren