

SUSANNE THIELE

ZU RISIKEN UND NEBENWIRKUNGEN FRAGEN SIE IHRE TÜRKLINKE

Wie Mikroben
unseren Alltag
bestimmen

Neues und Erstaunliches
über unsere vielseitigen
Mitbewohner



HEYNE <

Leseprobe

Susanne Thiele

Zu Risiken und Nebenwirkungen fragen Sie Ihre Türklinke

Wie Mikroben unseren Alltag
bestimmen – Neues und
Erstaunliches über unsere
vielseitigen Mitbewohner

Bestellen Sie mit einem Klick für 12,99 €



Seiten: 272

Erscheinungstermin: 11. Februar 2019

Mehr Informationen zum Buch gibt es auf

www.penguinrandomhouse.de

SUSANNE THIELE

ZU RISIKEN UND
NEBENWIRKUNGEN
FRAGEN SIE IHRE
TÜRKLINKE

**Wie Mikroben unseren Alltag bestimmen –
Neues und Erstaunliches über unsere
vielseitigen Mitbewohner**

Illustrationen im Innenteil von Isabel Klett

WILHELM HEYNE VERLAG
MÜNCHEN

INHALT

Ein paar Worte vorweg 10

Erster Teil

UNSICHTBARE WELTEN 13

1 Ein Planet der Mikroben. 14

Was sind Mikroben? 15 • Small, small World – ein unsichtbarer Mikrokosmos 16 • Latein für Keime 18 • Haben Bakterien Sex? 19 • Happy Birthday, Leben! 22 • Überall Bakterien – vom Anfang bis zum Ende 25 • Der Mensch – ein Klecks in einer mikrobiellen Welt 27 • Rekordverdächtige Mikroben 29 • Kooperation ist alles 32

2 Gute Mikroben, böse Mikroben. 35

Mikrobenjäger – unsere Angst vor Keimen 38 • Lernende Immunzellen 42 • Verlorene Freunde – wie unsere Mikrobiome verarmen 46 • Generation Keimfrei – die Erfindung der Allergie 50

3 Letzte Wildnis in unseren Häusern 55

Das große Krabbeln – wer hat die Macht in unserer Wohnung? 57 • Sie sind nicht allein – Ihre persönliche Mikrowolke 60

Zweiter Teil

UNSER HEIMISCHER MIKROBENZOO	67
1 Unser Tor zur Welt – Haustür und Flur	68
Blinde Passagiere auf Türklinken 69 • Pumps, Sneakers & Co. – Keime auf leisen Sohlen 75 • Auf der Suche nach dem Geheimnis der Käsefüße 78 • Der Mikrokosmos in unseren Handtaschen und Einkaufsbeuteln 82 • Dirty Money – Taler, Taler, du musst wandern 85	
2 Die Küche – von Schwämmen und Schneidbrettern	92
Verkehrsregeln auf der Arbeitsplatte 95 • Spülbürsten, Schwämme und Schwammtücher 97 • Warum Geflügel nicht geduscht wird 100 • Coole Keime im Kühlschrank 102 • Freundliche Mikroben auf Grünzeug 105 • Gute Keime aus der Wasserleitung 109 • Kaffee liebende Bakterien 112 • Natürliches Aufräumkommando im Bioeimer 115	
3 Wohnzimmer – von Teppichvölkern und TV-Mikroben	120
Wer kuschelt auf dem Sofa mit mir? 121 • Grippe beim Zappen – TV liebende Bakterien und Viren 125 • Hilfe, der Teppich lebt! Bakterienkarussell im Staubsauger 132 • Grüne Zimmerpflanzen – prima Klima mit guten Mikroben 134	
4 Homeoffice – fleißige Mikrogesellen auf Computer und Handy	141
Winzige Kollegen auf Tasten und PC-Mäusen 143 • Smartphone – jedes Handy erzählt eine Geschichte 146	

5 Expedition im Badezimmer. 151

Von der Latrine zum Wellnessstempel 151 • Mikrobenparadies im modernen Bad 153 • Nichts ist so sauber wie eine Toilette? 155 • In der Dusche – Bakterien im Nebel 160 • Tückische Legionellen 163 • Badematten und Handtücher mit Eigenleben 167 • Lady in Pink – schimmeliges Leben in der Fuge 170 • Beauty-Mikroben – Keime, die Cremes und Bürsten mögen 173 • Alles clean mit Seife? 176 • Haariges: Bewohner in Zahnbürsten und anderen Borsten 178

6 Im Schlafzimmer – wer schläft denn da mit mir? 183

Regenwald in der Matratze 187 • Allerhand los im Kopfkissen! 193 • Schlafen wie Marilyn – mit oder ohne Pyjama? 196

7 Mikrobenzoo im Kinderzimmer 200

Baby an Bord – Nestschutz und erste Freunde 203 • Hausstaub unter der Lupe – von Krabbelrobotern und Babybetten 204 • Boxenstopp am Wickeltisch 207 • Schnuller – abkochen oder nicht? 212 • Teddybär, Plastikauto und Quetscheentchen – Spielzeug als Shuttle für Keime & Co. 214

8 Hund und Katz – zu Hause mit Stubentiger & Co. 223

Bello als Mikroben-Lieferdienst 224 • Wohngemeinschaft mit Stubentiger 231 • Mit Hund und Katz ins Bett? 237

Dritter Teil

SCHÖNER WOHNEN MIT MIKROBEN 239

1 Mit »guten« Keimen leben 240

Wie Häuser unsere Mikrobiome formen 241 • Wie uns unsere Heime gesünder machen könnten 242 • Die Welt von morgen ist mikrobiell 246 • Herzlich willkommen, ihr Keime! 249

2 Ein paar letzte Worte	251
Werden Sie Mikrobienliebhaber! 252	
Dank	254
Literatur	255

EIN PAAR WORTE VORWEG

Mögen Sie Mikroben? Oder lässt Sie allein schon der Gedanke an solche winzigen Lebensformen zur Desinfektionsflasche greifen? Bakterien, Pilze, Viren & Co. – diese ganze Mikrobenschar hat ein furchtbar schlechtes Image. Tägliche Nachrichten über Epidemien und abscheuliche Krankheiten machen Mikroben zu unseren Angstgegnern. Jedes Kind wächst mit den Geschichten von den zerstörerischen Zahntrollen Karius und Baktus auf. Ganze Heerscharen von Mikrobenjägern sind zum Kampf gegen die Bakterien angetreten. Koch, Pasteur oder Virchow konnten wichtige Etappensiege im Wettrennen mit den Erregern erzielen. Trotzdem sitzt unsere Angst vor Keimen immer noch so tief, auch wenn Pest und Cholera Europa schon lange nicht mehr heimsuchen.

Die meisten von uns sind heute sehr gut über krank machende Erreger informiert. Hygiene wird großgeschrieben. Selbst Privathaushalte rüsten zur Schlacht gegen Mikroben auf, und manche sind sogar keimärmer als ein OP-Saal! Moderne Waffen wie Desinfektions- und Badewannenspray töten alles, was da kriecht und flucht – frei nach dem Motto »Nur eine tote Mikrobe ist eine gute Mikrobe«. »Antibakteriell« klingt für die meisten Menschen positiv. Gern greifen sie nach den so beworbenen Seifen, Hautlotionen und Reinigungsmitteln. Haben die meisten Haushalte nicht eher ein Problem mit Mehlmotten als mit Keimen?

Mikroben haben wunderbare Eigenschaften. Sie sind die kleinste und erfolgreichste Lebensform auf der Erde und besiedeln die unwirtlichsten Lebensräume. Sie sorgen für eine

ordentliche Verdauung in unserem Darm und räumen die Umwelt auf, indem sie organische Substanzen verwerten und Abwasser reinigen. Viele Bakterien und Pilze machen Lebensmittel erst schmackhaft und haltbar. Joghurt, Käse oder Bier gäbe es nicht ohne unsere mikrobiellen Helfer. Sind Sie aber trotzdem der Meinung, Badezimmer, Küche, Kühlschrank und Spüle sollten immer völlig keimfrei sein?

Erst in den letzten zehn Jahren hat sich unsere Einstellung zu Mikroben gewandelt. Seit Wissenschaftler das menschliche Mikrobiom, vor allem im Darm, erforschen, rückt die positive Beziehung zwischen uns und unseren winzigen Mitbewohnern immer mehr in den Vordergrund. Und das Interesse an den Mensch-Mikroben-Wechselwirkungen steigt. Seit 2014 gibt es den ersten Mikrobenzoo »Micropia« in Amsterdam, wo sich große und kleine Besucher den faszinierenden Mikrokosmos näher anschauen können – vor Jahrzehnten noch unvorstellbar. Im Mai 2017 hatte ich Gelegenheit, »Micropia« mit meiner Familie zu erkunden – sozusagen auf Recherche vor Ort. Eine der Inspirationen für dieses Buch fand ich in einer mannshohen meterlangen Leuchtwand, die über und über mit Petrischalen in den unterschiedlichsten Farben bedeckt war – bewachsen mit Mikroorganismen aus unserem täglichen Leben: mit Bakterien, die auf unseren Zahnbürsten sitzen, von Türklinken grüßen oder in unserem Staubsauger hausen, mit Schimmelpilzen, die mit uns duschen oder abends mit uns ins Bett schlüpfen. Die bunte Artenvielfalt unserer alltäglichen Begleiter ist unglaublich. Die Forscher kennen bisher nur einen Bruchteil der um uns herum lebenden Mikroorganismen und wissen oft auch nicht genau, wie diese winzigen Lebewesen in ihrem Ökosystem funktionieren.

Mikroorganismen also sind allgegenwärtig in unserem Leben. Absolute Keimfreiheit gibt es unter normalen Umständen nicht. Sie ist auch gar nicht nötig. Ich kann Sie jetzt schon beruhigen: Nur die allerwenigsten im Haushalt vorkommenden Keime

Nährlösungen. Und es gibt Bakterien natürlich in allen Formen: kugelförmig, als Stäbchen oder Spirale oder manchmal sogar quadratisch wie das halophile (salzliebende) Bakterium *Haloquadratum walsbyi*. Es misst 40 Mikrometer, ist platt wie eine Briefmarke und kann sich dank eingebauter Gasbläschen auf einer Salzlake gemütlich treiben lassen.

Für viele Aktivitäten müssen Bakterien und andere Mikroben auch miteinander kommunizieren – natürlich anders als wir. Sie produzieren winzige Signalmoleküle, die ihre Nachbarn in der Umgebung wahrnehmen können. Abgeleitet vom römischen »Quorum« (bestimmte Anzahl, die zur Abstimmung nötig ist), wird diese Art der Bakteriensprache als »Quorum sensing« bezeichnet: In Versammlungen ist somit eine bestimmte Anzahl von mikrobischen Teilnehmern für eine Entscheidung erforderlich. Dank dieser Kommunikation sind Bakterien sogar zu Handlungen in Gruppen fähig, um zum Beispiel Biofilme zu bilden. Überraschenderweise gibt es viele »Sprachen« in der Bakterienwelt, sogar »Esperanto-Moleküle«, die viele Bakterien verstehen. Entdeckt wurde der Quorum-sensing-Prozess beim Tintenfisch, der ein Leuchtorgan hat, das mit symbiotischen *Vibrio-fischeri*-Bakterien angefüllt ist. Nur wenn genug Bakterien vorhanden sind, entsteht ein Signal unter den Mikroben, und das Organ beginnt zu leuchten – wie eine Taschenlampe.

Small, small World – ein unsichtbarer Mikrokosmos

Die meisten Mikroben sind für unser Auge unsichtbar. Während tierische oder menschliche Zellen eine Größe von bis zu 30 Mikrometern haben, sind Bakterienzellen um ein Vielfaches kleiner. Millionen von ihnen haben sogar auf einer Nadelspitze Platz. Die einzige Bakterienart, die mit bloßem Auge sichtbar ist, ist die Schwefelperle *Thiomargarita namibiensis*, die in den 1990er-Jahren

500 Schnupfenviren, die nur noch unter dem Elektronenmikroskop zu erkennen sind. Die Viren müssen aber sowieso immer eine Extrawurst haben. Sie werden meist gar nicht zu den Lebewesen gezählt, da ihnen jegliche Form der Selbstorganisation und Ernährung fehlt – sie haben gar keinen Stoffwechsel. Viren sind auch viel einfacher gebaut als Bakterien. Eigentlich sind sie nur winzige Kapseln mit etwas Erbinformation drin. Unstrittig ist aber, dass sie unglaublich effizient darin sind, eine Zelle für ihre Vermehrung wie ein Pirat zu kapern und deren komplette Maschinerie umzukrempeln, damit sie letztendlich nur noch kleine Viren produziert. Sie sind eben sehr clevere Kerlchen.

Mikroorganismen sind zwar unfassbar klein, aber dafür unglaublich zahlreich. Allein die Anzahl der Bakterien auf unserer Erde beträgt geschätzt eine Nonillion, eine 10 gefolgt von 30 Nullen – mehr, als es Sterne in der Galaxis gibt. Die Anzahl der Viren ist sogar noch zwei Größenordnungen größer. Ein unglaublicher Fakt ist außerdem, dass alle diese unsichtbaren Mikroorganismen das sichtbare Leben auf der Erde um den Faktor 100 Millionen überwiegen. Zusammen sind sie schwerer als alle Pflanzen und Tiere, die wir sehen können. Allein in den Meeren lebt eine unvorstellbare Anzahl an Arten: Hochrechnungen zufolge kommen Forscher auf 10 hoch 30 Mikrobenzellen. Um das Gewicht der Mikroorganismen allein in den Weltmeeren aufzuwiegen, müssten 240 afrikanische Elefanten auf einer Waage stehen.⁵

Latein für Keime

Es gibt allein mehr als 12000 bislang bekannte Arten von Bakterien. Darüber hinaus werden täglich neue Mikroorganismen entdeckt. Sie haben sich bestimmt schon gewundert über die komischen Namen, die die Mikrobiologen den Bakterien, Pilzen oder Viren gegeben haben. In der Biologie sprechen die

mit Hamsterzellen in flagranti erwischt: Die Bakterien hatten Teile ihres Erbguts auf die Tierzellen übertragen, indem sie Eigenschaften über den sogenannten »horizontalen Gentransfer« austauschten.

Viele Bakterien enthalten neben ihrem herkömmlichen ringförmigen Chromosom noch weitere kleine DNA-Ringe, sogenannte Plasmide. Darauf befinden sich häufig Anlagen für Fähigkeiten, die unter besonderen Umweltbedingungen Vorteile bieten – zum Beispiel für Antibiotika-Resistenzen. Um diese Eigenschaften weitergeben zu können, haben Bakterien eine besondere Technik entwickelt: Beim Kontakt mit einer anderen Bakterienzelle können sie das Plasmid verdoppeln, einen schlauchartigen Fortsatz – die »Sex-Pili« – bilden und darüber die Plasmid-DNA übertragen. Dieser »rohrpostartige« Vorgang heißt auch ganz unromantisch »Konjugation«.

So können Bakterien Daten austauschen und schwimmen damit sozusagen in einer Art gemeinsamem Genpool. Jeder Anpassungsvorteil, der gerade sinnvoll erscheint, kann sich überallhin ausbreiten. Stellen Sie sich das einfach so vor: Sie stehen vor einem großen Fluss und bräuchten ein paar Flügel, um ihn zu überqueren. Dann fragen Sie schnell mal bei der entfernten Verwandtschaft an, und zack! könnten Sie fliegen oder grün leuchten oder Fotosynthese betreiben. Damit sind die Bakterien aus genetischer Sicht ein kommunizierender Riesenorganismus – winzig klein, sehr schnell und damit unbesiegbar.

Inzwischen also sind Sie schon richtig fit in der Mikrobiologie, und wir können uns an ein kleines Experiment wagen. Begleiten Sie mich auf eine Zeitreise zu den Anfängen der Erdentwicklung – ohne die Mikroben wäre dieser Planet nicht unsere Erde geworden, und wir Menschen wären gar nicht entstanden.

Gezeitentümpel am Meeresstrand unter der gleißenden Sonne vor. In dieser »Ursuppe« wurden seiner Meinung nach alle Bausteine des Lebens wie ein Cocktail gut verrührt und geschüttelt, und es bildete sich neues Leben.

Heute glauben die Forscher zu wissen, dass sich die Anfänge des Lebens in einem brodelnden Inferno abspielten – unter ständigem Meteoriten-Bombardement, extremen Temperaturen, intensiver UV-Strahlung und einer dünnen, mit Methan, Ammoniak und anderen für uns giftigen Gasen angereicherten Atmosphäre. Als die heißesten Kandidaten für den Ursprungsort des Lebens gelten brodelnde Schloten auf dem Meeresboden. In diesen Geysiren, den sogenannten »Schwarzen Rauchern« (»Black Smoker«) im Mittelozeanischen Rücken, waren die organischen Strukturen und neuen Zellen vor der tödlichen ionisierenden Strahlung der Sonne geschützt. Diese Quellen wimmeln auch noch heute vor Leben. Besiedelt sind sie insbesondere von sehr ursprünglichen einzelligen Lebensformen wie den Archaeobakterien, wie die Urbakterien genannt werden, die dort die Basis der Nahrungskette bilden.

Happy Birthday! Sie waren gerade live als Geburtshelfer beim Schöpfungsmoment des Lebens dabei, und ich darf Ihnen Ihren Urahnen vorstellen: LUCA. Der Name hat nichts zu tun mit dem bekannten Song von Suzanne Vega, sondern ist die Abkürzung für »last universal common ancestor« – den ersten gemeinsamen Verwandten und Vorfahren aller Lebewesen auf der Erde. Nun seien Sie bitte nicht enttäuscht, dass er nicht so unheimlich spektakulär gebaut ist: ein kleiner Beutel Leben, ein Gebilde aus Membranen und Proteinen, das sich ernähren konnte, sich weiterentwickelte und Nachkommen hervorbrachte. LUCA enthält nicht mehr als etwas RNA (Ribonukleinsäure) als Erbinformation, zusammengehalten durch Zytoplasma, die flüssige Grundsubstanz der Zelle, und bestenfalls eine dünne Membran. Einen Zellkern konnte er sich auch noch nicht leisten. Deshalb werden diese frühen Urbakterien auch als »Prokaryonten« bezeichnet – abgeleitet von der

griechischen Bezeichnung für »bevor« und »Kern«. Alle anderen Lebewesen, auch wir Menschen, haben Zellen mit Zellkernen und gehören zu den Eukaryonten (griechisch für »echt« und »Zellkern«). Doch wir höheren Lebewesen kommen erst viel später ins Spiel!

Die einfachen Urbakterien hatten überhaupt kein Problem damit, jede nur mögliche Nische zu besiedeln. Erst dann liefen sie richtig zur Hochform auf und werden deshalb auch als »extremophil« bezeichnet. Die ersten Bewohner der Erde leben und überleben bis heute an den kältesten und heißesten Orten unserer Erde, an Land und auf See. Die Archaeobakterien unter ihnen gehören zu den noch »extremere« Typen. Sie können sogar in Säure überleben, lieben ätzende Gase oder siedendes Wasser und fühlen sich auf Vulkanen oder am Grund von Sümpfen wohl. Die frühesten Spuren des Lebens fanden Forscher in den ältesten Gesteinen, dem 3,8 Milliarden alten Isua-Serpentinit aus Grönland.

Wer heute anschaulich erleben möchte, unter welchen extremen Bedingungen unser Leben entstanden ist, muss von Deutschland aus etwas reisen. Der Yellowstone Nationalpark oder die isländischen und neuseeländischen Geysir-Landschaften sind die bekanntesten Orte. Aber auch schon in Italien bei Sasso Pisano in der Toskana oder am Solfatara bei Neapel können Sie sie an heißen und nach faulenden Eiern stinkenden Schlamm- und Schwefelquellen finden, die bunten Krusten in Gelb, Rostrot und Giftgrün – schleimige, von Mikroorganismen gebildete Ablagerungen. Der Mikrobiologe Thomas D. Brock von der Indiana University in Bloomington isolierte daraus 1969 ein »thermophiles« (hitzeliebendes) Bakterium, »*Thermus aquaticus*«. Diese Bakterien leben übrigens auch in unseren Heimen, in Geschirrspülmaschinen, Heißwasserbereitern und Waschmaschinen.

Überall Bakterien – vom Anfang bis zum Ende

Würden wir uns die Erdgeschichte bildlich als 24-Stunden-Tag vorstellen, so wären die Urbakterien die absoluten Frühaufsteher. Schon um 4:30 Uhr ist mit ihnen das erste Leben auf der Erde entstanden. Doch so richtig spannend und vielfältig war es zu dieser Zeit auf der Erde noch nicht. Die ersten einzelligen Mikrotierchen und Algen tauchten erst am Nachmittag gegen 16 Uhr auf. Ab 21 Uhr waren auf der Erdkugel auch einfache Tiere zu finden. Als unsere frühen Vorfahren, die Affen, entstanden, waren es gerade noch etwa 90 Minuten bis Mitternacht. Und wir selbst, die Angehörigen der Gattung *Homo sapiens*, entwickelten uns gerade mal zwei Sekunden vor zwölf.

Wir Menschen haben also bisher nur einen sehr winzigen Teil der Erdgeschichte miterlebt. Es ist kaum zu glauben, aber zwei Milliarden Jahre lang waren die unsichtbaren Mikroorganismen die alleinigen Eigentümer der Erde, und das haben sie auch ordentlich für sich ausgenutzt. Sie schufen unsere Biosphäre und die gesamten wichtigen Kreisläufe von Kohlenstoff, Sauerstoff, Schwefel und Phosphor. Sie bildeten den Boden und den Humus. Und last, but not least schufen sie so ganz nebenbei auch die Basis für die Entwicklung des mehrzelligen Lebens – der Pflanzen und Tiere und von uns.

Irgendwann lernten einzellige Cyanobakterien, umgangssprachlich auch Blaualgen genannt, eine reichliche Ressource auf der Erde anzuzapfen – den Wasserstoff, der im Wasser in ungeheuren Mengen vorkommt –, und gaben den Sauerstoff als Abfallprodukt frei. Die Fotosynthese war zweifellos die wichtigste biochemische Neuerung, und sie wurde nicht von den Pflanzen erfunden, sondern von Bakterien. Der größte Teil des Luftsauerstoffs auf der Erde stammt von Mikroorganismen, unter ihnen die heutigen Formen der Cyanobakterien. Algen und Kleinstlebewesen aus dem Meer blasen jedes Jahr rund 150 Milliarden Kilo davon in die Luft.

Zuerst sammelte sich der neue Sauerstoff noch nicht in der Atmosphäre, sondern verband sich mit Eisen zu Eisenoxid, das auf den Boden der urzeitlichen Meere sank. Mehrere Millionen Jahre rostete unsere Erde buchstäblich vor sich hin.

Nicht für alle damals lebenden Organismen war der Sauerstoff toll – für einige eher eine richtige Katastrophe: Sie waren nicht an ihn angepasst. In einer anaeroben (also sauerstofffreien) Welt wirkte er regelrecht giftig. Die neuen Lebewesen, die den Sauerstoff nutzen konnten, hatten zwei große Vorteile auf ihrer Seite. Er ermöglichte ihnen eine schnellere Energieproduktion und zerstörte gleichzeitig konkurrierende andere Organismen. Auf der Erde gab es nun aerobe Organismen, die Sauerstoff vertrugen, und anaerobe, die Sauerstoff wie der Teufel das Weihwasser mieden. Dazu zogen sie sich in den Schlamm der tiefsten Tümpel zurück, oder sehr viel später auch in unsere Organe wie z.B. Darmbakterien in den Darm. Unzählige Arten schafften die Anpassung nicht und gingen zugrunde.

Rund 40 Prozent der Erdgeschichte mussten vergehen, damit die Atmosphäre der Erde in etwa ihren heutigen Sauerstoffgehalt hatte. Dann entstand aber sehr plötzlich ein neuer Typ von Zellen mit einem Zellkern und anderen kleinen Körperchen, die wir als Organellen bezeichnen (griechisch für kleine Werkzeuge) – die Eukaryonten waren geboren.

Die Organellen wie Mitochondrien und Chloroplasten sind nach heutiger Ansicht übrigens dadurch entstanden, dass ein abenteuerlustiges Bakterium in ein anderes einwanderte oder einfach aufgenommen wurde. Diese Wohngemeinschaft stellte sich später als sehr clever heraus, und beide hatten Vorteile davon. Nach dieser »Endosymbionten-Theorie« entwickelten sich die eingefangenen Bakterien zu Mitochondrien in tierischen Zellen zur Energiegewinnung und bei Pflanzenzellen zu Chloroplasten. Ohne diesen raffinierten Kunstgriff der Evolution wäre das Leben auf der Erde beim Schleim aus einfachen Mikroorganismen geblieben.

versteckt liegen. Also entwickelte er mit Kollegen eine elegante molekulargenetische Methode, bei der er die Bakterienarten mithilfe des Gens für die sogenannte 16S-ribosomale RNA auseinandertrennen konnte. Das ist ein wichtiger Baustein in den Proteinfabriken der Zellen, der Ribosomen. Mit diesen Molekülen können die Forscher genauso wie mit der DNA problemlos auch in der sauerstoffhaltigen Umgebung eines Labors arbeiten. Jede Mikrobenart besitzt eine individuelle Version dieses Gens als unverwechselbares Merkmal, und es ist möglich, ganze Stammbäume damit aufzubauen – weit besser als mit jeder mikroskopischen Analyse.

Carl Woese stellte fest, dass die Archaeobakterien, die bisher ganz normal den Bakterien zugeordnet wurden, eigentlich in ein eigenes Reich gehören. Sie ähneln zwar den Bakterien, unterscheiden sich aber in wichtigen molekularbiologischen Details. Die Unterschiede beziehen sich auf Eigenschaften, von denen Sie noch nie gehört haben und die Sie jetzt bestimmt auch nicht zu blanken Begeisterungstürmen ausbrechen lassen. Da fehlen irgendwelche kleinen Lipide und eine Verbindung namens Peptidoglycan. In der Praxis hat das aber unglaubliche Konsequenzen – zwischen den Gruppen der Bakterien und den Archaeobakterien liegen plötzlich Welten: Sie unterscheiden sich voneinander stärker als Sie und ich von einer Spinne oder einem Krebs.

Diese Erkenntnis veränderte den evolutionären Stammbaum. Große Aufregung in der Wissenschaft! Alles musste umgeschrieben werden – 100 Jahre mikrobiologische Systematik. Und das Ergebnis gefiel nicht allen. Da, wo wir in den 1990er-Jahren noch fünf Organismenreiche im Stammbaum kannten: Tiere, Pflanzen, Protisten (Einzeller), Pilze und Bakterien, gab es auf einmal 23 Hauptäste. Woese teilte den neuen Stammbaum in nur drei Domänen ein: Bakterien, Archaeobakterien und Eukaryonten, zu denen auch die Tiere, die Pflanzen und wir gehören. Diese Domänen sind radikal unterschiedlich, genetisch weiter voneinander getrennt als Menschen von einem Tintenfisch oder von einem Pinienbaum.

So sah der Stammbaum des Lebens natürlich sehr ungewöhnlich aus. Er besteht fast nur noch aus Bakterien und Urbakterien. Der überwiegende Teil der Vorfahren im Baum unseres Lebens sind die Mikroben. Die Artenvielfalt auf unserer Erde liegt also nicht bei den Insekten oder Pflanzen, wie Sie vermuten könnten, sondern im mikroskopisch Kleinsten! Wir sind umgeben von einer dunklen geheimnisvollen Macht der Mikroben.

Für uns Menschen blieb gerade mal ein mickriger kleiner Seitenast im dritten Bereich der Eukaryonten. Während zwischen dem Darmkeim *E. coli* und dem Bakterium *Clostridium* plötzlich Welten liegen, ist ein Weizenkorn fast ein enger Verwandter von uns! Das war wirklich schwer zu verstehen. »Die Menschheit macht nur einen winzigen Klecks aus in der massiv bakteriellen Welt«, sagte der New Yorker Mikrobiologe Martin J. Blaser. »Das ist eine Tatsache, an die wir uns erst noch gewöhnen müssen!«⁷

Der 2012 im Alter von 84 Jahren verstorbene Carl Woese ging jedenfalls in die Geschichte ein als der »Mann, der den Stammbaum des Lebens umschrieb« – das ist in etwa so bedeutend wie die Erkenntnisse von Albert Einstein für die Physik.

Rekordverdächtige Mikroben

Mikroben sind einfach überall! Es ist wirklich unterhaltsam, sich einmal anzuschauen, wo sich diese Winzlinge überall ansiedeln. Sie sind Eroberer, Pioniere und richtige Stoffwechsellkünstler. Es gibt viele Höchstleistungen in diesem Mikrokosmos.

Mikroben wurden auch in den tiefsten Minen der Welt gefunden. Sie können Gold fördern wie Liliput-Minenarbeiter. Hin und wieder ist Gold an bestimmte Mineralien gebunden. Die Mikroben unterwerfen die Mineralien dann ein paar Oxidationsvorgängen, verwandeln sie in lösliche Ionen und legen ganz nebenbei

lebt vorzugsweise in Abwassertanks von Kernreaktoren und ernährt sich von Plutonium und anderen Metallen. Auch radioaktives Uran ist begehrt. Es wird verschmaust vom winzigen Stäbchenbakterium *Geobacter metallireducens*. Es baut Uran so um, dass hinterher eine ungefährliche unlösliche Uranform entsteht, die einfach mit den Bakterien zusammen eingesammelt werden kann. Selbst der Himmel und die Luft sind vor Mikroben nicht sicher. Einige Keime können sogar bis zu 60 Kilometer Höhe leben und helfen dabei mit, Wolken oder Schnee und auch den Regen zu bilden.

Ja, auch im Weltraum können Mikroben überleben. Sie reiten auf Space Shuttles mit und bevölkern die internationalen Raumstationen. Wissenschaftler setzten Bakterien von der Erde dem Weltraum aus, und diese überlebten das Experiment 553 Tage ganz ohne Raumanzug. Einige Bakterien sind sogar fast unzerstörbar, wie *Deinococcus radiodurans* – auch bekannt als »Conan das Bakterium«. Es ist fast immun gegen Radioaktivität. Wird seine DNA mit Strahlung bombardiert, lagern sich die Stücke sofort wieder zusammen und reparieren sich selbst, wie die beweglichen Gliedmaßen eines Untoten.

Die bisher erstaunlichste Überlebensleistung haben aber Bakterien der Gattung *Streptococcus* vollbracht. Die bakterielle Reisegeellschaft aus etwa 100 irdischen Ausflüglern wurde aus einer luftdicht abgeschlossenen Kamera isoliert, die mehr als zwei Jahre lang auf dem Mond gestanden hatte. Den Himmelskörper hatten die Einzeller offenbar 1967 als blinde Passagiere erreicht: in einem Kameragehäuse an Bord der US-Sonde Surveyor 3. Vielleicht hatte ein Techniker kurz gehustet, als er die Kamera zusammenbaute. *Streptococcus* kommt auch in unserer Mundhöhle vor. Zur Verblüpfung der Wissenschaftler hatten die Winzlinge Vakuum, harte kosmische Strahlung, Temperaturen um minus 250 Grad Celsius und vollständigen Nahrungsmangel offensichtlich unbeschadet überstanden. Seit jener Entdeckung treibt die Wissenschaftler die

Frage um, ob auch andere Bakterien unter Weltraumbedingungen überleben können – und wenn ja, wie lange.

Kooperation ist alles

Genau wie unsere Erde ihr eigenes Mikrobiom hat – überall im Boden, in der Luft, im Wasser, in Wäldern, Industrieanlagen oder in unseren Haushalten –, haben auch Tiere, wir selbst oder unsere Kinder ein eigenes Mikrobiom. Es ist einzigartig und individuell wie ein Fingerabdruck. Wir erhalten es bei der Geburt von unseren Müttern, und es begleitet uns unser ganzes Leben lang. So hat sich jede Kreatur auf der Erde mit einer eigenen Kollektion von nützlichen Keimen entwickelt.

Baby-Komodowane teilen ihr Haut- und Mundmikrobiom mit ihrer Umgebung. Oktopusse werden schon Stunden nach ihrer Befruchtung von freundlichen Bakterien besiedelt. Termiten können Holz nur verdauen, weil sie spezielle Bakterien im Magen haben, die die sonst unverdauliche Zellulose aufschließen. Kühe ziehen ihre Nährstoffe aus dem Gras, weil sie dafür Mikroben haben, die in ihren vier Mägen leben.

An diesen Beispielen erkennen wir ganz leicht, wie wichtig Kooperation in der Natur statt feindlicher Abgrenzung ist. Es ist viel einfacher für so große vielzellige Organismen, wie wir es sind, sich mit Bakterien zusammenzutun, die ganz spezielle Eigenschaften haben, als diese mühsam selbst zu entwickeln.

Auch wir Menschen haben unser Mikrobiom mit mehreren Tausend Arten von Mikroorganismen. Würden wir mit einem Mikroskop unsere Körper untersuchen, dann tut sich eine faszinierende Welt der Mikroben auf. Wir führen täglich einen ganzen Zoo mit uns zur Arbeit oder in die Schule – eine bunte Mischung aus Bakterien, Viren, Würmern, Pilzen und Milben. Nach aktuellen Schätzungen haben wir 39 Billionen Bakterienzellen auf

30 Billionen menschlicher Zellen in unserem Körper. Das entspricht einem Verhältnis von 1,3 Mikroben auf eine menschliche Zelle. Individuelle Unterschiede wie die Körpergröße oder unser Gewicht können das Verhältnis etwas verändern. Aber Sie bekommen nun eine Ahnung davon, dass wir ein riesiger Superorganismus sind! In uns und auf uns leben 10000 mikrobielle Arten, die zusammen etwa zwei bis drei Kilo wiegen – etwa so viel wie unser Gehirn.

Die Mikroben erfüllen bei uns vielfältige Aufgaben. Sie siedeln sich in ganz verschiedenen Milieus unseres Körpers an – im Ohr, in der Nase, unter den Achseln oder auch im Darm in den verschiedenen Abschnitten – und haben ganz auf diese Regionen abgestimmte Funktionen. Am Forschungsinstitut INRA in Paris wurde vor Jahren die Landkarte des Darmuniversums in seiner ganzen Vielfalt entwickelt. Die Forscher konnten nachweisen, dass normalerweise nur ungefähr tausend Bakterienarten in großer Menge im menschlichen Darm zu finden sind, wobei jeder Mensch mindestens 170 Arten davon in sich trägt. Die meisten Arten sind bei allen Menschen gleich.⁸ Hier haben sie verschiedene Aufgaben: vom Verdauen von Kohlehydraten in unserer Nahrung bis zur Produktion von Vitaminen in unserem Darm. Unser Mikrobiom kooperiert von hier aus intensiv mit unserem Immunsystem. Manche Mikroben übermitteln Signale, andere tragen zur Energieversorgung bei, wieder andere schulen das Immunsystem und machen es toleranter.

Ohne unser Mikrobiom könnten wir nicht mal unser Frühstücksmüsli oder -brötchen verdauen. Wir würden krank werden oder sterben, weil wir gar nicht in der Lage wären, lebenswichtige Vitamine zu erzeugen. Nehmen wir mal an, die Bibel hätte recht, dass Gott den Menschen erschaffen hat, so hätte er, bevor er Adam erschaffen hat, auf alle Fälle noch die Bakterie erschaffen müssen. Denn ohne eine gut funktionierende Darmflora hätten weder Adam noch Eva den Apfel verdauen können.

Die meisten von uns neigen in ihrer Wahrnehmung dazu, die Mikroben etwas an den Rand des Daseins zu drängen. Schließlich können wir, groß und klug, wie wir sind, Städte, Medikamente wie Antibiotika und vernetzte Informationstechnologien entwickeln. Das können Bakterien, Viren und Co. nicht. Sie verfügen nicht über unsere kommunikativen Fähigkeiten. Sie erscheinen uns auf den ersten Blick primitiver als wir. Aber das ist ihr großer Vorteil: Sie werden noch da sein, wenn die Sonne explodiert. Dies ist eigentlich ihr Planet, und uns gibt es nur, weil sie es uns gestatten. Sie leben seit Milliarden Jahren auf diesem Planeten sehr gut ohne uns.

Neben dem Sauerstoff auf der Erde liefern uns die Mikroorganismen auch noch Stickstoff, den sie der Luft entziehen. Pflanzen könnten den gasförmigen Stickstoff aus der Luft sonst gar nicht nutzen. Das ist eine großartige Leistung, mit der die Mikroben den Stickstoff der Luft für uns und andere Lebewesen in verwertbare nützliche Nukleotide und Aminosäuren umwandeln. Für dieselben Prozesse werden in der Industrie in der Düngemittelproduktion hohe Temperaturen (um 500 Grad) und Drücke (das 200-fache des Luftdrucks) aufgewendet. Bakterien schaffen das spielend und zu unserem Glück. Denn kein Lebewesen auf unserem Planeten könnte ohne den von ihnen verarbeiteten Stickstoff existieren.

Und wir sollten auch nicht vergessen, dass die Mikroben eine sehr wichtige Aufräumaufgabe auf unserem Planeten übernehmen. Ohne sie würde nichts verfallen oder verwesen – Berge von Müll würden sich auf unserem Planeten türmen. Und sie fressen auch uns letztendlich, wenn wir sterben, so wie auch alle Tiere und Pflanzen im Kreislauf des Lebens. Und das ist auch gut so!

me zu verursachen, wenn sie zur richtigen Zeit am richtigen Ort sind.

Die am weitesten verbreiteten Mikroben sind die Kommensalen – die harmlosen »Tischgenossen« oder »Zuschauer«. Sie leben in unserer Umwelt und gelangen über unser Essen oder die Luft in unseren Körper und den Darm. Meist sind sie auf unserer Haut, den Schleimhäuten oder auch in den Atemwegen anzutreffen und besetzen wahrscheinlich einfach die besten Plätze, an denen sich sonst womöglich ein Krankheitserreger niederlassen würde. Daran wird noch viel geforscht.

Diese Bakterien sind unsere treuesten Begleiter. Nicht *Homo sapiens*, sondern »*Homo sapiens* plus Mikrobe« ist die Einheit der Evolution. Erst in den letzten 10 bis 15 Jahren haben die Wissenschaftler erkannt, welches komplexe Ökosystem der menschliche Körper eigentlich darstellt. Er ist ein Lebensraum, ein »Holobiont«, ein »soziales Netzwerk« mit Billionen von Bakterien und anderen Mikroorganismen. Unser Mikrobiom, diese vielfältige Gemeinschaft von Mikroorganismen mit all ihren Genen, leistet wichtige Hilfestellungen bei der Gesunderhaltung unserer Körpervorgänge, von der Verdauung bis zur Immunabwehr. Die Forscher entdecken erst allmählich die vielen positiven Auswirkungen dieser Organismen. Mit unserer Autarkie, der angeblichen Unabhängigkeit des Menschen, ist es also nicht weit her!

Jeder Mensch beherbergt in seinem Körper dieses komplexe Mikrobiom – wenn auch nicht gleich von Anfang an. Wir erwerben unsere ganz persönlichen Kommensalen aus der Umwelt. Da die gesunde Gebärmutter fast keimfrei ist, startet der Fötus noch in ein steriles Dasein als Einzelwesen. Keine Zeit ist dabei so wichtig wie unsere frühe Kindheit. Wir erhalten unser Mikrobiom bei einer natürlichen Geburt von unseren Müttern und später durch das Stillen. Das hat die Natur so eingerichtet, um die Babys mit dem passenden Mix für die erste Lebenszeit auszurüsten. Durch den Kontakt zu Eltern, Geschwistern, Großeltern und

