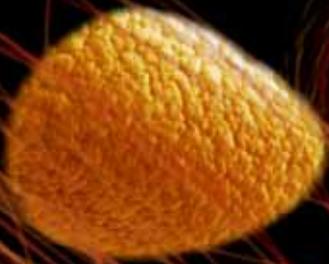


DIE, DIE IN' UNS LEBEN



Bakterien und Archaeen beherrschen den Planeten. Uns Menschen sowieso. Ohne scheinbar gruselige Mikroorganismen hätte sich höheres Leben nie entwickelt. Ein kribbeliges Interview mit den Molekularbiologen Tim Urich und Alexander Loy. *Interview: Clemens Makanay*



Was ist ein Mensch? Sehr viele! Mikrobiologen schätzen, dass gut 90 Prozent der Zellen in unserem Körper nicht von uns selbst stammen. Es sind Bakterien und Archaeen, die uns besiedeln: die Haut, den Mund, die Ohren, den Darm und andere dunkle Orte unseres Körpers. Sie gehören zu uns, sind Teil von uns, machen uns aus. Und sie sind 100 Billionen.

„Unser Organismus funktioniert nur, weil sie da sind“, sagt Tim Urich. „Alle Lebenskreisläufe auf der Erde würden zusammenbrechen, wenn es sie nicht gäbe.“ Alexander Loy fügt an: „Eigentlich müsste man es umgekehrt sehen: Ohne sie hätte sich höheres Leben, also wir, nie entwickelt.“ Die beiden 38-jährigen Mikrobiologen erforschen seit Jahren an der Universität Wien das Zusammenleben von Bakterien und Archaeen mit uns Menschen. Das Neuland, das vor ihnen liegt, ist riesig. Denn obwohl die ersten Mikroorganismen bereits vor über 300 Jahren entdeckt wurden, wissen wir noch immer so gut wie gar nichts über die gigantische Welt der kleinsten Lebewesen.

2012: Ohne Bakterien gäbe es uns nicht?

Alexander Loy: Die Bakterien waren die Basis allen Lebens. Sie haben auf der Erde die Bedingungen für höheres Leben geschaffen ...

Tim Urich: Und die Archaeen!

Loy: Und die Archaeen, entschuldige. Wir verwenden ja das Wort Bakterien oft synonym für beide, aber eigentlich müsste man sie immer getrennt erwähnen, Bakterien und Archaeen. Wenn man es ganz richtig machen will, sagt man am besten Mikroorganismen. Jedenfalls: Sie haben beispielsweise dafür gesorgt, dass sich der Sauerstoff in der Atmosphäre verbreitet hat.

Wir reden hier von der Zeit der Entstehung des Lebens?

Urich: Nicht ganz. Die ersten Lebewesen entstanden vor ungefähr 3,5 Milliarden Jahren. Sie haben ihre Energie aus der Erde selbst gewonnen, aus chemischen Verbindungen, die durch vulkanische Aktivitäten entstanden sind. Das frühe Leben hat vermutlich in der Umgebung von Black Smokers in der Tiefsee oder von Hydrothermalquellen stattgefunden. Erst ein paar hundert Millionen Jahre später haben die sogenannten Cyanobakterien diesen genauso cleveren wie

folgeschweren Schritt gemacht: Sie haben das Sonnenlicht als Energiequelle benutzt und für diese chemische Reaktion das am weitesten verbreitete Molekül auf unserer Erde herangezogen, Wasser. Ein Abfallprodukt dieser Reaktion, die wir als Photosynthese kennen, ist O₂, der Sauerstoff.

Wie viele Mikroorganismen gibt es überhaupt auf der Erde?

Loy: Die Zahl der Individuen übersteigt jede Vorstellungskraft. Nach Schätzungen könnten es 10³⁰ sein, das ist ein Einser mit dreißig Nullen hinten dran. Oder auch: eine Quintillion.

Urich: Man sagt, in einem einzigen Gramm Boden kann es so viele Mikroorganismen geben wie Menschen auf der Erde. Doch wir kennen weniger als ein Prozent der Arten, die dort leben.

Loy: Ungefähr 10.000 Arten sind bislang wissenschaftlich beschrieben und benannt. Ihre gesamte Diversität geht aber vermutlich in die Millionen. Die Forschung wird noch Generationen allein mit der Entdeckung und Beschreibung beschäftigt sein. Aber die reine Beschreibung ist gar nicht das große Ziel. Viel wichtiger ist es uns, die Funktion der Organismen besser zu verstehen. Vor allem die, die in uns Menschen leben.

Und was weiß man schon über die?

Urich: In einem Menschen leben ungefähr 100 Billionen mikrobielle Zellen, das sind durchaus bis zu zwei Kilogramm. Man spricht auch von der Mikrobiota. Die meisten davon sitzen im Darm, vor allem im Dickdarm. Sie spielen dort eine unverzichtbare Rolle beim Stoffwechsel. Sie helfen uns bei der Energiegewinnung, weil sie die aufgenommene Nahrung so zersetzen, wie unser Körper es alleine gar nicht könnte. Sie produzieren beispielsweise aus Kohlehydraten kurzkettige Fettsäuren, die dann von unserem eigenen Organismus aufgenommen werden können.

Loy: Sie produzieren Vitamine, die wir nicht herstellen können, aber für uns lebenswichtig sind. Und sie schützen uns vor Krankheitserregern.

Das heißt, sie besiedeln uns nicht nur, wir sind auch noch von ihnen abhängig?

Loy: Die Naturwissenschaft spricht schon seit einigen Jahren vom Superorganismus. Man sieht

den Menschen nicht mehr als ein abgeschlossenes Individuum, sondern als gemeinschaftlichen Organismus aus menschlichen Zellen und einer Vielzahl von bakteriellen und anderen Zellen.

Dabei übersteigt die Anzahl der Mikroorganismen-Zellen die unserer eigenen Körperzellen um das Zehnfache! Die genetische Kapazität, die diese Organismen in sich tragen, ist gar hundertmal höher als die unseres eigenen Genoms.

Urich: Das menschliche Genom hat etwa 20.000 Gene. Die Mikroorganismen-Arten in uns haben zusammen etwa zwei Millionen Gene.

Gibt es da eine Kommunikation?

Loy: Es gibt eine extrem komplexe Interaktion. Es handelt sich ja nicht einfach um eine Symbiose von zwei Partnern, die in direkter Verbindung stehen, sondern sozusagen um eine ganze Stadtbevölkerung, die untereinander kommunizieren muss. Da läuft sicherlich nicht immer alles positiv ab. Es gibt jede Menge Konkurrenz. Letztendlich geht es aber immer um Energiegewinnung: Manche Mikroorganismen arbeiten zusammen, um bestimmte Substrate abzubauen, andere konkurrieren darum. Es entstehen also Kommunikationsnetzwerke auf physiologischer Ebene.

Urich: Es gibt aber sehr wohl auch direkten Informationsaustausch zwischen Bakterienzellen und Zellen unseres Körpers.

Das einzelne Bakterium ist also in uns, um zu überleben? Das ist seine Motivation?

Loy: Jedes Bakterium will sich vermehren, sprich sich teilen, und seine Gene in die nächste Generation weitertragen. Dafür muss es sich im Kampf um Ressourcen gegen die anderen Mikroorganismen durchsetzen. Am besten findet es eine Nische, die von möglichst wenig anderen besetzt ist. In unserem Darm gibt es zwei große Habitate: die Darmschleimhaut und den von ihr umschlossenen Raum. Die, die an der Darmschleimhaut sitzen, sind natürlich im Vorteil, weil sie nicht ständig davongespült werden. Außerdem können sie sich auch von der Schleimhaut selbst ernähren, sollte mal keine Nahrung vorbeikommen.

Auch wenn sie sich nicht bewusst für eine Kooperation mit uns entschieden haben, wollen sie nur das Beste für uns?

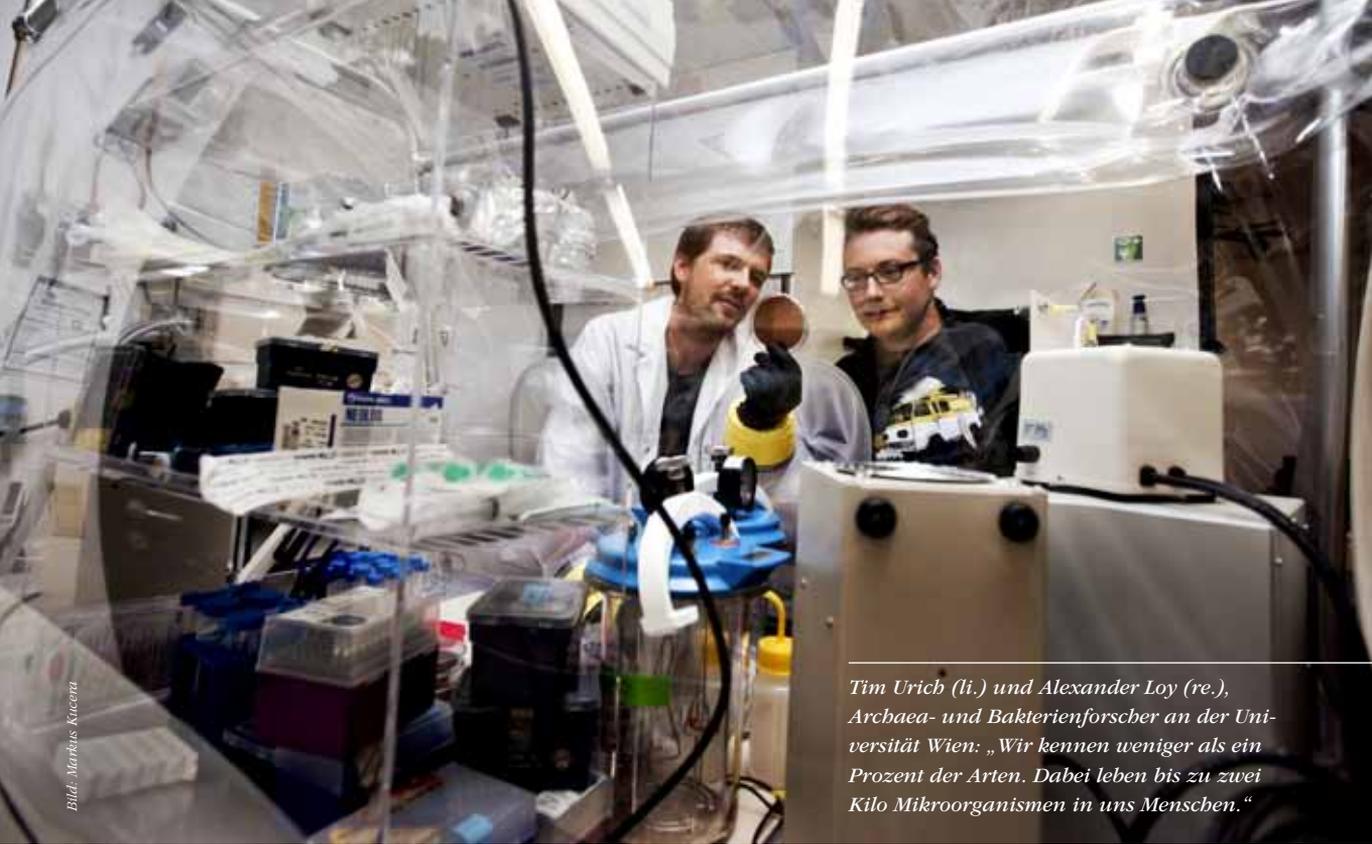


Bild: Markus Kucera

*Tim Urich (li.) und Alexander Loy (re.),
Archaea- und Bakterienforscher an der Uni-
versität Wien: „Wir kennen weniger als ein
Prozent der Arten. Dabei leben bis zu zwei
Kilo Mikroorganismen in uns Menschen.“*

Loy: Auf jeden Fall! Die kommensalen Bakterien, also die „Guten“, die mit uns und zum beiderseitigen Vorteil leben, sind ganz klar in der Überzahl gegenüber den „Bösen“, den Krankheitserregern. Deren Zahl ist verschwindend gering.

Im Extremfall kann ein böses Bakterium einen Menschen töten. Warum tut es das?

Urich: Zunächst einmal plant es das ja nicht so voraus. Es ist ihm nicht bewusst. Außerdem muss man den Erfolg eines Bakteriums an seiner Vermehrung messen. Wenn man sich etwa *Salmonella typhimurium* ansieht, da genügen schon einige hundert Zellen, die in unseren Darmtrakt hineinkommen, um dort eine Entzündung auszulösen. Sie schaffen sich so ihre eigene Nische, vermehren sich rasant, und in wenigen Tagen werden aus ein paar hundert Bakterien hunderte Millionen. Der Mensch leidet an starkem Durchfall und kann sogar sterben, doch für das Bakterium ist es ein voller Erfolg, denn es hat eine ordentliche Populationsvergrößerung durchgeführt. Und wird durch den Kot weiter übertragen.

Loy: Natürlich will kein Bakterium das Lebewesen, in dem es lebt, so schnell wie möglich killen. Es hätte keinen Vermehrungserfolg und würde sich evolutionär nicht durchsetzen.

Urich: Mutualistisches Zusammenleben, also Symbiosen, in denen alle Beteiligten langfristig profitieren, sind in der Natur sehr viel weiter verbreitet als parasitische Interaktionen. Sie sind einfach erfolgreicher.

Wenn man im Alltag von Bakterien spricht, geht es aber meist um Krankheit und Tod.

Loy: Ja, die Wahrnehmung der Mikroorganismen als die „Bösen“ ist eine sehr verzerrte, aber verbreitete. Das liegt zum einen daran, dass wir im Alltag nur auf sie aufmerksam werden, wenn sie Krankheiten auslösen. Zum anderen konzentriert sich die medizinische Forschung logischerweise auf die pathogenen Mikroorganismen. Das hat zur Folge, dass wir über die anderen, die „Guten“, noch viel zu wenig wissen.

Mit Antibiotika-Therapien machen wir uns bei denen wohl nicht gerade beliebt?

Loy: Nimmt man ein Antibiotikum ein, kann man sich das wie einen Orkan vorstellen, der durch einen Wald fegt und alles niederreißt. Hinterher bleiben vereinzelt ein paar Bäume stehen. Man hat den Krankheitserreger hoffentlich erwischt, aber es dauert danach sehr lange, bis sich wieder

eine funktionierende Mikrobiota aufgebaut hat. In dieser Zeit der Wiederaufforstung können andere pathogene Bakterien den freigewordenen Platz einnehmen und neue Krankheiten auslösen.

Gibt es so etwas wie schädliche Hygiene?

Urich: Die Hygiene war eine großartige Erfindung im 19. Jahrhundert. Im Lauf des 20. Jahrhunderts hat sich die Alltags-Hygiene jedoch etwas zu sehr ins Extreme entwickelt.

Loy: Es täte uns gut, würden wir uns hier wieder ein Stück zurücknehmen. Gerade Kleinkinder brauchen den Kontakt zu Mikroorganismen, die ihren Körper besiedeln. So bauen sie ihre Darm-Mikrobiota auf und trainieren ihr Immunsystem.

Woher kriegen wir die Mikroorganismen?

Loy: Im Idealfall von der Mama während der Geburt. Bei einer natürlichen Geburt wird das Baby Bakterien aus der Vagina und aus den Fäkalien exponiert. Wie wichtig dieser erste Kontakt ist, zeigen Vergleichsstudien mit Babys, die durch Kaiserschnitt auf die Welt gekommen sind. Bei denen entwickelt sich die Mikrobiota viel zufälliger, da ist dann mitentscheidend, wer das Kind in den ersten Stunden angreift. Diese Babys haben noch lange Zeit eine völlig andere Mikrobiota als natürlich geborene Kinder.

Und im Lauf unseres Lebens werden wir ständig weiter besiedelt?

Urich: Genau. Sie kommen von überall her, aus dem Wasser, aus der Luft. In diesem Moment fallen sie auf uns herab.

Loy: Es gibt diesen Spruch unter Mikrobiologen: „Everything is everywhere, but the environment selects“. Alles wird fast überallhin verbreitet, und die jeweiligen Umweltbedingungen bestimmen dann, welches Bakterium tatsächlich gedeiht.

Wenn der Mensch ein Superorganismus ist, der aus vielen eigenen und noch viel mehr fremden Zellen besteht, wird er also nicht einmal gezeugt und geboren, sondern ununterbrochen neu geschaffen und am Leben erhalten?

Loy: Könnte man so sagen.

Was ist dann überhaupt ein Mensch?

Loy: Das ist nicht nur eine der spannendsten Fragen der Philosophie, sondern mittlerweile auch der Biologie. Die Erkenntnis, dass die Mikrobiota solch profunde Auswirkungen auf den Menschen hat, fordert tatsächlich ganz neue Denkansätze heraus. Es gibt auch Aufrufe innerhalb der naturwissenschaftlichen Community, sich verstärkt mit Anthropologen und Philosophen zusammenzusetzen und sich über diese Fragen auszutauschen.

Und was ist Ihre Meinung dazu?

Loy: Zu wissen, dass meine Mikrobiota mich beeinflusst, ist schon von zentraler Bedeutung für mich. Ich denke nach: Wie bekommt diese oder jene Handlung den Mikroorganismen in mir? Wenn ich etwas esse, welche Bakterien profitieren davon, welche nicht? Aber das alles ist ja noch kaum erforscht. Man kann sich also nicht wirklich an bestimmte Regeln halten.

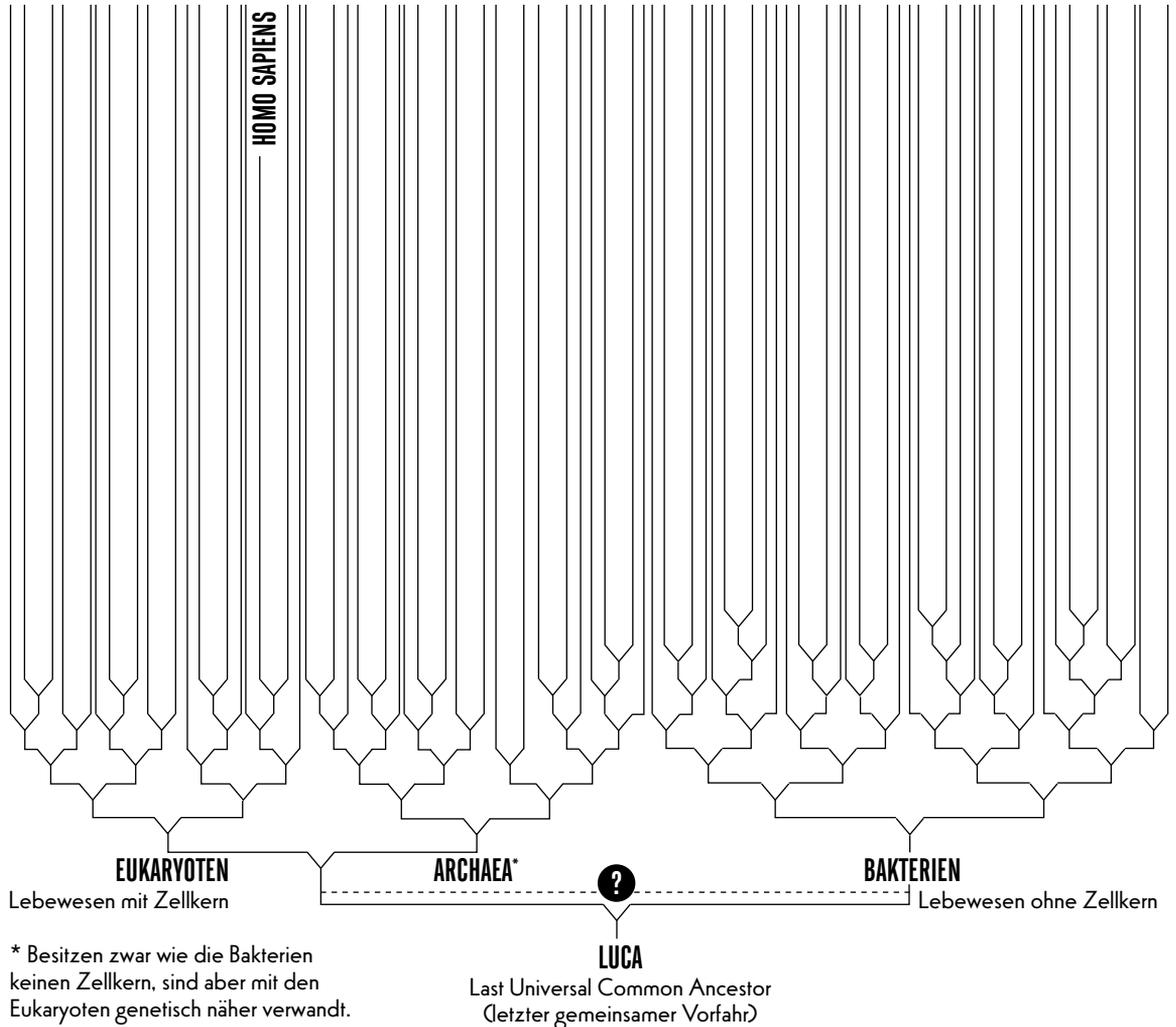
Vom Menschen nochmal zurück zum globalen Maßstab: Sie haben eingangs beschrieben, wie Mikroorganismen unsere Atmosphäre verändert haben. Das tun sie ja noch immer?

Urich: Wir führen gerade ein spannendes Projekt in der Arktis durch. Dort schauen wir uns an, wie die methanbildenden Archaeen darauf reagieren, dass durch den Klimawandel die Permafrostböden tiefer tauen. Werden sie sich dadurch vermehren, mehr Methan in die Atmosphäre abgeben und dadurch den Klimawandel weiter beschleunigen? Oder werden die methanfressenden Organismen sich genauso vermehren und alles im Gleichgewicht halten?

Es gibt diese neue Wortschöpfung vom „Anthropozän“. Damit soll ausgedrückt werden, dass der Mensch in den letzten paar hundert Jahren die Natur so sehr beeinträchtigt hat, dass man diese Periode als ein eigenes Erdzeitalter beschreiben könnte, das Menschen-Zeitalter. Nach der gleichen Logik könnte man durchaus die gesamte Dauer des Lebens auf der Erde als das „Mikrobiozän“ bezeichnen, das Zeitalter der Mikroorganismen. Denn sie haben unsere Welt geschaffen. Sie waren lange vor uns, und sie werden lange nach uns sein.

Die drei Formen des Lebens

Carl Woese, der Mann, der am Stammbaum des Lebens sägte, entdeckte 1977 ein ganzes Reich von neuen Lebewesen.



* Besitzen zwar wie die Bakterien keinen Zellkern, sind aber mit den Eukaryoten genetisch näher verwandt.

Der Streit um den Stammbaum des Lebens ist so alt wie die Biologie. Die ersten Naturwissenschaftler unterschieden gerade mal zwischen dem Reich der Tiere und jenem der Pflanzen. Später bekamen auch die Pilze und die Einzeller ihre eigenen Reiche. Mitte des 20. Jahrhunderts setzte sich die Fünf-Reiche-Theorie durch: Tiere, Pilze, Pflanzen, Einzeller mit Zellkern und Einzeller ohne Zellkern (also Bakterien).

Dann wurde die DNA-Sequenzierung erfunden und alles anders. Mit der neuen Technologie unterm Arm machte sich der US-amerikanische Mikrobiologe Carl Woese Ende der 1970er-Jahre daran, die Verwandtschaftsverhältnisse aller Lebewesen noch einmal ordentlich durchzukämmen. Was er dabei entdeckte, war revolutionär und stürzte die Fünf-Reiche-Theorie: Unzählige Lebewesen, die man bis dahin

für Bakterien gehalten hatte, weil sie genauso aussahen, waren alles, nur keine Bakterien. Ihr genetischer Code war so verschieden, dass Woese sie als eigenständiges Reich klassifizierte. Er nannte sie Archaeen, weil sie wohl zu den ältesten Lebewesen der Erde zählen.

Bis in die 1990er-Jahre stritten Biologen über den Stellenwert von Woesses Entdeckung. Heute zweifelt niemand mehr daran. Woesses neuer Stammbaum des Lebens spricht nicht mehr von Reichen, sondern von den drei Domänen. Tiere, Pflanzen und Pilze teilen sich seitdem die Domäne der Eukaryoten, in der alle Zellen einen Zellkern besitzen. Die beiden anderen – zahlenmäßig übermächtigen – Domänen sind die Bakterien und die Archaeen. Und der Homo sapiens ist nicht mehr als ein kleiner Zweig