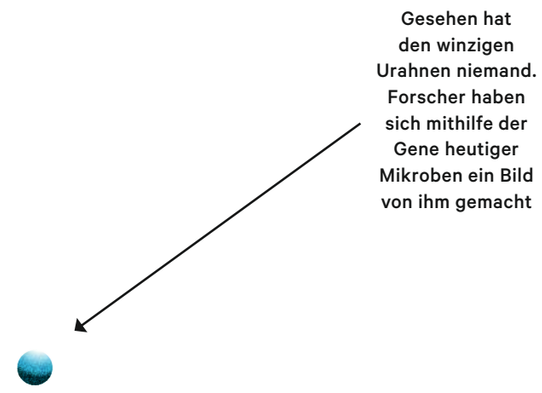
Der Beginn des Lebens



Alles, was heute auf der Erde atmet und blüht, stammt von einem urzeitlichen Wesen ab. Es existierte vor vier Milliarden Jahren und war noch weniger als ein Einzeller. Forscher nennen es »Luca« **VON ULRICH BAHNSEN**

Die Erde war leer. Nichts wuchs, schwamm, krabbelte in dem gewaltigen Ozean, der ihre Oberfläche bedeckte. Sein Wasser war heiß, keimfrei und wie der ganze Planet ein sehr ungastlicher Ort. Aber nicht für Luca. Es hatte alles, was es brauchte, im Überfluss. Das war nicht viel: Luca benötigte Wasser für seinen Stoffwechsel und ernährte sich von Gasen. Es brauchte keinen Sauerstoff zum Atmen; den gab es auch noch nicht, weder in der Atmosphäre noch im Wasser. Bis zur Entstehung des Menschen sollte es noch vier Milliarden Jahre dauern. Eine lange Zeit, und mit Luca fing sie an.

Luca steht für *last universal common ancestor,* den letzten universellen gemeinsamen Vorfahren allen Lebens. Jede heute existierende Lebensform, von Bakterien über Bäume, Geparden, Pilze und Rauhaar-Teckel bis hin zum Menschen, stammt von Luca ab. Seine Gene sind in einer nie unterbrochenen Kette aus Generationen von Lebewesen in Milliarden Jahren die unseren geworden. Luca war, so taufte es der berühmte Mikrobiologe Carl Woese in den 1960er-Jahren, ein Progenot – Leben, wie wir es kennen, im Moment der Entstehung.

Erst jetzt, mehr als 50 Jahre später, hat die Wissenschaft ein genaues Bild davon entworfen, was Luca eigentlich war. Die Erkenntnisse geben einen faszinierenden Blick auf die Ursprünge des Lebens frei und damit auf die allerersten Buchstaben der Geschichte aller Organismen auf diesem Planeten. Ihre Erforschung ist eine erstaunliche Leistung von Mikrobiologen, Genetikern und Chemikerinnen: Schließlich ist der Gegenstand einerseits vier Milliarden Jahre alt, andererseits lebt er aberbillionenfach weiter.

Dabei hatte es 400 Millionen Jahre vor Luca so ausgesehen, als wäre auf dem Planeten alles zu Ende. In die junge Erde knallte ein anderer Himmelskörper aus dem Sonnensystem, das sich gerade erst formiert hatte. Die Kollision setzte ungeheure Energien frei, schleuderte einen Teil der Materie in den Weltraum. Es entstand der Mond. Die Erde aber verwandelte sich in eine glühende Hölle, ihre Kruste schmolz zu einem Ozean aus weit über 1700 Grad heißem Magma. Alles Wasser verdampfte. Gab es damals schon organische Stoffe, so verbrannten sie. Das war vor 4,4 Milliarden Jahren. Die Erde war steril. Und doch, es war der Anfang.

Weiter ging es schnell. Nur 200 Millionen Jahre später war die Erde wieder so weit abgekühlt, dass flüssiges Wasser existieren konnte; die gesamte Erdkruste verschwand unter einem riesigen tiefen Ozean, und unter dem Meeresboden brodelte es. Wasser drang ins heiße Gestein, und es bildeten sich in Hunderten Meter Tiefe wahre Chemiefabriken. Hydrothermale Quellen nennen die Geologen diese Schlote, in denen heißes Wasser und Gase aufsteigen. Bis zu 60 Meter hoch wachsen sie in den Ozean. Eine Ansammlung von Schloten, auch Lost City genannt, ist durchzogen von einem riesigen, dichten Netzwerk winziger Poren – idealen Laboren für die ersten primitiven Stoffwechselprozesse. In Milliarden solcher Poren, in ewiger Dunkelheit und Hitze, entstand und existierte Luca. Es war also kein Individuum. Es war eine Existenzform im Übergang zum Leben.

Noch war es auch keine Zelle, sondern biologisches Protoplasma, eine wabernde Masse ohne Hülle, ähnlich dem Zellinhalt heutiger Bakterien – gefangen, aber auch geschützt in den Gesteinsporen. Dort wuchs und verbreitete es sich. Und es veränderte sich dabei, eine noch vorwiegend biochemische Evolution begann.

Vermutlich weniger als 250 Millionen Jahre brauchte die Natur für Luca: Von der Entstehung des gewaltigen Urozeans vor 4,2 Milliarden Jahren bis zum Erscheinen echter Zellen vor 3,95 Milliarden Jahren. In diesem Zeitraum entstanden aus einfachen chemischen Prozessen die Bausteine des Lebens und formten Luca. Erst in den vergangenen Jahren ließen sich die Chronologie und die einzelnen Kapitel der Entstehungsgeschichte aufklären.

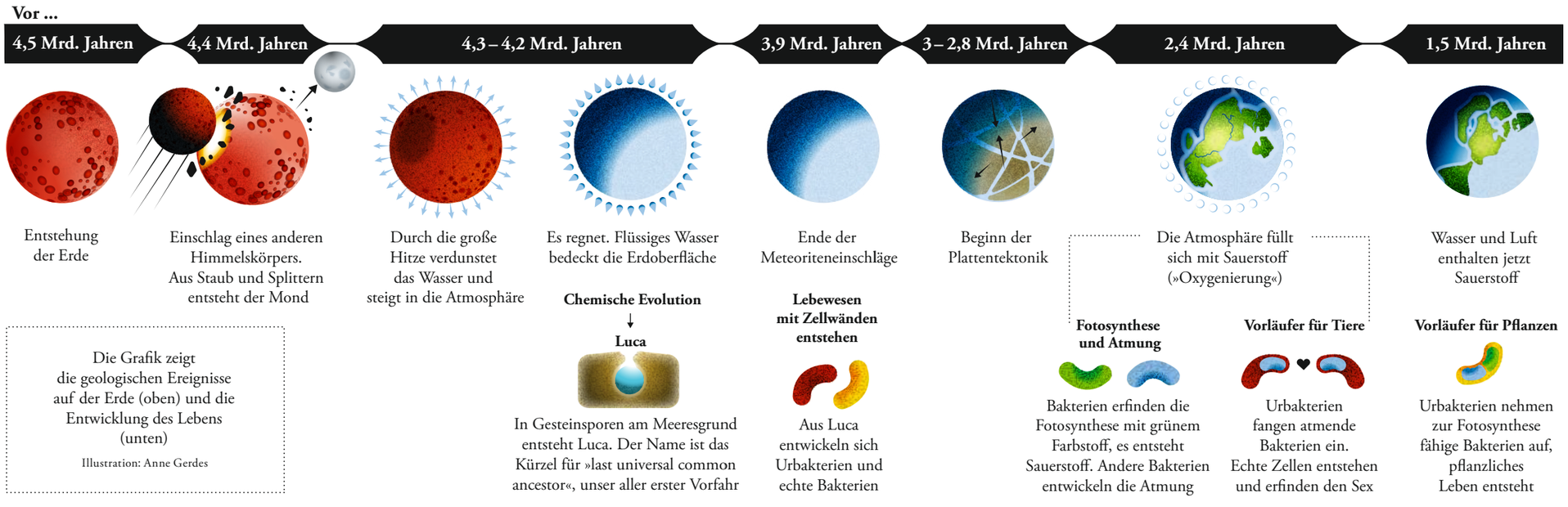
Natürlich hat niemand Luca je gesehen. Aber es muss dieses Wesen gegeben haben. Das folgern Forschende aus Gemeinsamkeiten aller heutigen Zellen – sie sind durch Zufall nicht zu erklären: Alle Lebewesen benutzen dieselben 20 Aminosäuren (und zwar immer nur deren linksdrehende Variante), um ihre Eiweiße aufzubauen. Ihre Gene bestehen aus denselben vier Bausteinen, und ihr Code ist bis heute für alles Leben gültig.

Nur – was war Luca eigentlich? Wie lebte es? Und was wurde aus ihm als Nächstes? Solchen Fragen widmet sich mittlerweile ein eigenes Forschungsfeld, Origin of Life genannt (Ursprung des Lebens). Es hat inzwischen eine erstaunlich detaillierte Rekonstruktion unseres ältesten Ahnen gemeistert. »Luca ist genau die Schnittstelle zwischen biochemischen Reaktionen und sich selbst vermehrendem Leben«, sagt der Biologe William Martin, der an der Düsseldorfer Heinrich-Heine-Universität die Anfänge des Lebens erkundet. Martin und seine Kollegen haben die Gene heutiger Bakterien und Archebakterien auf ihr stammes-

Fortsetzung auf S. 36

Illustration: Armando Veve für DIE ZEIT

Eine Geschichte der Erde in 8 Schritten:



Die Grafik zeigt die geologischen Ereignisse auf der Erde (oben) und die Entwicklung des Lebens (unten)

Illustration: Anne Gerdes

WISSENSCHAFTSFREIHEIT

Der Beginn … Fortsetzung von S. 35

geschichtliches Alter untersucht und die Grundausstattung in Lucas Erbgut herausgefiltert: »Luca hatte mindestens 355 Gene.«

Seine Genfunktionen sind enträtselt, sie zeigen uns, was für ein Geselle es war. Es verfügte bereits über Ribosomen, die Eiweißfabriken der Zellen, konnte also seine Proteine und seine Enzyme herstellen. Ernährt hat sich Luca von Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenmonoxyd und Kohlendioxid. Mithilfe seiner Enzyme konnte es diese Gase in seinen Stoffwechsel einführen und damit die Erbgut-Bausteine erzeugen, Aminosäuren aufbauen sowie Kohlenhydrate herstellen.

Die Energie dafür bekam Luca praktisch frei Haus. Es war so etwas wie ein biochemischer, selbstladender Akku: Im Inneren der Poren, in denen es existierte, herrschte das basische Milieu des aufsteigenden Wassers aus den heißen Quellen (etwa pH-Wert 9). Außen aber wurden die Poren von leicht saurem Ozeanwasser umspült (pH-Wert 6). Dabei entstand ein Gefälle in der Konzentration elektrisch geladener Teilchen. Luca nutzte dessen Energie, um den molekularen Treibstoff ATP aufzubauen. Dieses Molekül ist bis heute der Energieträger in unseren Zellen. Luca war also eine Beinahe-Lebensform, die keinen Sauerstoff benötigte, ähnelte aber bereits heutigen Extrem-Mikroben, die in heißen Quellen, Salzseen oder Schwefelbrühe existieren können. »Wir hätten nicht erwartet, dass man durch die Lupe des Erbguts so weit in der Zeit zurückblicken kann«, sagt Martin. Aber die genetischen Untersuchungen lassen wenig Zweifel, dass Luca wirklich so existierte.

Doch unser Urahn hatte ein Problem. Die Zeit spielte gegen ihn. Seine Behausungen, die Türme der Lost Citys, sind nicht stabil. Irgendwann kollabieren sie. Luca musste sich eine schützende Hülle zulegen, um seine Gesteinsporen verlassen und mobil werden zu können. Das konnte ihm aber erst gelingen, nachdem es die Zahl seiner Gene nach und nach vervierfacht hatte. Doch dann schaffte es den großen Sprung zu den ersten Zellen offenbar sogar zweimal – und auf verschiedene Weisen.

Denn wenig später, vor 3,4 Milliarden Jahren, bevölkerten zwei Arten von Lebewesen die Erde: echte Bakterien (Eubacteria) und Urbakterien (Archaea). Beide waren aus Luca hervorgegangen, doch die schützenden Zellwände von echten Bakterien und Urbakterien unterscheiden sich chemisch so stark, dass es keinen Zweifel gibt: Sie sind unabhängig voneinander entstanden.

Als das Leben auf der Erde diese Stufe der Entwicklung erklommen hatte, setzte auch die Darwinsche Evolution ein – das Prinzip von Veränderung und Auslese von Individuen –, und die lebendige Natur war nicht mehr zu stoppen. Bis höhere Zellen (Eukaryoten), wie sie Menschen, Tiere und Pflanzen besitzen, entstanden, dauerte es aber noch. Eine umfassende Innovation war nötig.

Um die Zeit vor 2,4 Milliarden Jahren erfanden einige von Lucas bakteriellen Nachfahren die Fotosynthese, die Umwandlung des Sonnenlichts in chemische Energie als Nahrungsquelle. In Ozean und Atmosphäre reicherte sich ein Nebenprodukt dieser Neuerung an: Sauerstoff. Das eröffnete bald darauf anderen Erben Lucas eine neue Lebensweise – Bakterien entdeckten die Atmung, den Energiestoffwechsel durch Verbrennung mithilfe von Sauerstoff. Erst danach gelang der letzte entscheidende Schritt des Lebens – und der war gewalttätig: Urbakterien verschluckten erste atmende Bakterien und hielten sie in ihrem Inneren als Kraftwerke gefangen. Nach und nach wandelte sich die Versklavung zu einer Symbiose, die beiden Partner wurden voneinander abhängig. In diese Phase fallen auch die anderen Neuerungen des höheren Lebens: Es bildete sich ein Zellkern mit Chromosomen. Damit begann ein neues Kapitel – vor zwei Milliarden Jahren erfand das Leben den Sex.

Auch wir Menschen besitzen die Energie-Sklaven der Urzeit noch. Es sind die Mitochondrien, die in allen Tieren und Pflanzen die zelluläre Energie produzieren. Das pflanzliche Leben braucht sogar zwei dieser ursprünglich bakteriellen Dienstboten: Seine Vorfahren in der Urzeit kaperten auch noch ein Bakterium, das zur Fotosynthese fähig war – und wurden grün.

Wissenschaftler erkunden nun, was vor Luca war. Sicher ist bisher, dass es aus einer Menge komplexer chemischer Reaktionen entstand. Doch war das alles nur ein Zufall, unendlich unwahrscheinlich? Oder musste das Leben entstehen, wie nach einem Naturgesetz? Weder noch, meint Martin: »Leben entsteht, sobald sich die Gelegenheit dazu bietet. Und«, sagt er, »es ist immer sterblich.«

Links zu den Quellen dieses Artikels finden Sie bei ZEIT ONLINE unter **zeit.de/wq/2019-53**