



rowohlt
e-BOOK

MICHIO
KAKU
ABSCHIED
VON DER
ERDE

Die Zukunft der Menschheit

Abschied von der Erde

Die Zukunft der Menschheit

Aus dem Englischen von Monika Niehaus und Bernd Schuh

 rowohlt
e-BOOK

Unser Dasein auf diesem Planeten kann nicht ewig währen. Ein paar tausend Jahre noch. Wenn's gut läuft, einige zehntausend, wenn's schlecht läuft und der Mensch nachhilft, einige hundert - und das gespaltene Atom, das pandemische Virus, die nächste Eiszeit, der Supervulkan im Yellowstone Park oder ein großer Komet löscht fast alles Leben aus; wie schon viermal geschehen auf unserer Erdkugel.

Dies ist ein Szenarium, das Astrophysiker und Zukunftsforscher von Carl Sagan bis Michio Kaku umtreibt, nicht unrealistisch angesichts der Vielzahl von Gefahren. Es wird Zeit, sagt Kaku, die nächste Zivilisationsstufe zu erklimmen und den Aufbruch ins Weltall voranzubringen: gleichsam Weltraum-Archen zu planen und zu bauen. In diesem Buch erklärt Kaku, wie und wann es im Einzelnen gehen könnte: natürlich unter Einhaltung der herrschenden physikalischen Gesetze.

Die ersten Schritte führen zum Mars. Um das Jahr 2030 will die NASA eine bemannte Mission zum Roten Planeten schicken, zehn Jahre vorher schon mit der Erkundung des Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter anfangen.

Diese Himmelskörper geologisch auszubeuten, könnte die nächsten Schritte finanzieren: Terraforming mit technischen Mitteln wie Quantencomputer, superharte Nano-Werkstoffe und sich selbst reproduzierende Schürf- und Arbeitsroboter. Bereits um das Jahr 2050, schätzt Kaku, könnten Mittel und Technik ausreichen, um schon einmal einen ständigen Außenposten auf dem Mars zu errichten.

Vom umgeformten Mars aus geht die Entwicklung dann weiter zu einer Stadt im Weltraum und zu Reisen in andere Sternensysteme. Kaku stellt das ganze Arsenal heute denkbarer Zukunftstechnologien auf die Probe:

Weltraumaufzüge, Meteoritenabwehr, lasergetriebene Minisonden nach Alpha Centauri, die ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit erreichen könnten (wie Stephen Hawking sie propagiert), Raumschiffe mit Antimaterie-Antrieb (gleich dem Atom nicht unheikel), das Produzieren von Wurmlöchern via negative Energie mit Hilfe des «Casimir-Effekts» oder – in ganz, ganz ferner Zukunft – mit Planck-Energie.

Theoretisch ist das meiste davon möglich. Und Kaku entfaltet vor unseren Augen ein ebenso unterhaltsames wie kenntnisreiches Breitwand-Panorama künftiger technischer (und biologischer) Wunder, die uns den Weg ins Weltall ebnen können. Der Zeitrahmen geht dabei weit über die 100 Jahre von «Die Physik der Zukunft» hinaus: Was ist

denkbar in rund 100, 1000, 10000 Jahren und, im Ausblick, noch sehr viel später? Auch hier passt, was die *New York Times Book Review* über den Vorgänger schrieb: «Was für ein wunderbares Abenteuer ist dies, der Versuch, das Udenkbare zu denken!»

Über Michio Kaku

Michio Kaku, geboren 1947, ist einer der Väter der Stringtheorie und zählt zu den berühmtesten Physikern der Welt. Er arbeitet und lehrt als Professor für Theoretische Physik an der City University of New York. Wie Albert Einstein und Stephen Hawking ist er auf der Suche nach der einen «Theorie von allem» zur Erklärung der fundamentalen Kräfte der Natur. In den USA ist er zudem ein Medienstar mit großer TV-Präsenz und eigener Radiosendung; inzwischen hat er auch in Deutschland durch seine Auftritte in vielen Science-Dokus TV-Präsenz und Bekanntheit erlangt.

*Gewidmet meiner lieben Frau Shizue und meinen
Töchtern Michelle und Alyson*

Vorwort

Eines Tages vor rund 74000 Jahren wäre die Menschheit fast ausgestorben. [1]

Eine gewaltige Explosion in Indonesien sandte eine kolossale Wolke aus Asche, Rauch und Staub in den Himmel, die, nachdem sie sich gelegt hatte, eine Fläche von vielen tausend Quadratkilometern bedeckte. Der Ausbruch des Vulkans Toba war so heftig, dass er als die stärkste vulkanische Eruption der letzten 25 Millionen Jahre gilt. Dabei wurden unvorstellbare 2800 Kubikkilometer vulkanischen Materials in die Atmosphäre geschleudert. In der Folge wurden große Teile von Malaysia und Indien unter einer bis zu 10 Meter dicken Ascheschicht begraben. Die giftigen Gase und der Staub wanderten schließlich über Afrika und zogen eine Schleppe von Tod und Zerstörung hinter sich her.

Stellen Sie sich einen Moment lang das Chaos vor, das von dieser erdgeschichtlichen Katastrophe hervorgerufen wurde. Unsere Vorfahren wurden von der sengenden Hitze und den grauen Aschewolken, die die Sonne verdunkelten, in Angst und Schrecken versetzt. Viele wurden vergiftet oder erstickten an Ruß und Staub. Dann begannen die Temperaturen abrupt zu fallen, was zu einem so genannten vulkanischen Winter führte. So weit das Auge reichte,

gingen Pflanzen und Tiere zugrunde, sodass nur eine öde, verwüstete Landschaft zurückblieb. Die überlebenden Menschen und Tiere waren gezwungen, in einer zerstörten Landschaft nach Nahrungsbrocken zu suchen, und die meisten unserer Vorfahren verhungerten. Es war, als würde die ganze Erde sterben. Die wenigen Überlebenden hatten nur ein einziges Ziel: so rasch und so weit wie möglich aus dieser Todeszone zu entkommen, in die sich ihre Welt verwandelt hatte.

Starke Hinweise auf diese Katastrophe lassen sich möglicherweise in unserem Erbgut finden. [2]

Genetikern ist die seltsame Tatsache aufgefallen, dass zwei beliebige heute lebende Menschen über eine fast identische DNA-Zusammensetzung verfügen. Im Gegensatz dazu kann die DNA zweier beliebiger Schimpansen eine größere genetische Variationsbreite aufweisen, als man sie innerhalb der gesamten menschlichen Bevölkerung findet. Mathematisch lässt sich das Phänomen durch die Annahme erklären, dass die meisten Menschen durch den Vulkanausbruch ausgelöscht wurden und nur eine Handvoll unserer Vorfahren überlebten – rund 2000 Individuen. Bemerkenswerterweise sollte diese abgerissene, zerlumpte Bande von Menschen zu den Urmüttern und Urvätern werden, deren Nachkommen schließlich die ganze Welt besiedeln würden. Wir alle sind demnach fast so eng verwandt wie Brüder und Schwestern, die von einer sehr

kleinen und sehr widerstandsfähigen Gruppe von Menschen abstammen, die leicht in den Festsaal eines modernen Hotels gepasst hätte.

Während diese Menschen durch die öde Landschaft streiften, hätten sie sich wohl kaum vorstellen können, dass ihre Nachfahren eines Tages jeden Winkel unseres Planeten beherrschen würden.

Wenn wir heute einen Blick in die Zukunft werfen, erkennen wir, dass die Ereignisse, die vor 74000 Jahren stattfanden, tatsächlich eine Generalprobe für zukünftige Katastrophen sein könnten. Daran musste ich 1992 denken, als ich die erstaunliche Nachricht hörte, dass ein Planet entdeckt worden war, der einen fernen Stern umkreiste. Damit konnten die Astronomen erstmals belegen, dass es auch außerhalb unseres Sonnensystems Planeten gibt. Das war ein bedeutender Paradigmenwechsel in unserem Verständnis des Universums. Traurig machte mich jedoch der zweite Teil der Nachricht: Dieser fremde Planet umkreiste einen toten Stern, einen Pulsar, der von einer Supernovaexplosion zurückgeblieben war, die dabei wahrscheinlich alles Leben auf diesem Planeten ausgelöscht hatte. Kein der Wissenschaft bekannter Organismus kann der alles vernichtenden Gewalt nuklearer Energie widerstehen, die frei wird, wenn ein naher Stern explodiert.

Dann stellte ich mir eine Zivilisation auf diesem Planeten vor, die sich bewusst war, dass ihr Muttergestirn im Begriff war zu sterben, und die mit aller Kraft daran arbeitete, eine riesige Armada an Raumschiffen fertigzustellen, die sie in ein anderes Sternsystem bringen könnte. Auf dem Planeten musste ein schreckliches Chaos geherrscht haben, als die Bewohner voller Panik und Verzweiflung versuchten, einen der letzten Plätze in einem der abhebenden Raumschiffe zu ergattern. Ich stelle mir das Entsetzen der Zurückgelassenen vor, die ihr Ende fanden, als ihre Sonne explodierte.

Es ist so unausweichlich wie die Gesetze der Physik, dass die Menschheit eines Tages mit einem Ereignis der einen oder anderen Art konfrontiert wird, das ihr Aussterben bedeuten könnte. Aber werden wir wie unsere Vorfahren genug Schwung und Entschlossenheit besitzen, zu überleben und sogar zu blühen und zu gedeihen?

Wenn wir all die Lebensformen an unserem inneren Auge vorüberziehen lassen, die jemals auf Erden gelebt haben, von mikroskopisch kleinen Bakterien zu hoch aufragenden Bäumen, gigantischen Dinosauriern und unternehmungslustigen Menschen, stellen wir fest, dass 99,9 Prozent von ihnen schließlich ausgestorben sind. Das heißt, dass Aussterben die Norm ist und unsere Chancen bereits sehr schlecht stehen. Wenn wir den Boden unter unseren Füßen ausheben, um nach Fossilien zu suchen,

finden wir Belege für viele frühere Lebensformen. Aber nur eine kleine Handvoll hat bis heute überlebt. Vor uns gab es Millionen Arten; sie tummelten sich unter der Sonne, und dann welkten sie dahin und starben aus. Das ist die Geschichte des Lebens.

Ganz gleich, wie sehr wir den Anblick eines romantischen Sonnenuntergangs schätzen, den Geruch einer frischen Meeresbrise und die Wärme eines Sommertages, eines Tages wird das alles enden und der Planet für menschliches Leben unbewohnbar werden. Die Natur wird sich schließlich gegen uns wenden, wie sie es bei all den bereits ausgestorbenen Lebensformen getan hat.

Wie die Geschichte des Lebens auf der Erde zeigt, gibt es für Organismen angesichts einer feindlichen Umwelt drei Möglichkeiten: Sie können diese Umwelt verlassen, sie können sich ihr anpassen oder sie werden aussterben. Doch wenn wir weit genug in die Zukunft schauen, werden wir uns eines Tages einer Katastrophe gegenüber sehen, die so gewaltig ist, dass Anpassung praktisch unmöglich ist. Entweder verlassen wir die Erde, oder wir werden untergehen. Einen anderen Weg gibt es nicht.

Solche Katastrophen haben sich in der Vergangenheit immer wieder ereignet, und sie werden sich zweifellos auch in der Zukunft ereignen. Die Erde hat bereits fünf große Aussterbezyklen durchlaufen, bei denen jeweils bis zu 90 Prozent aller Lebensformen ausgelöscht wurden. Und

weitere derartige Ereignisse werden folgen, das ist so sicher wie das Amen in der Kirche.

In den nächsten Jahrzehnten sehen wir uns Bedrohungen gegenüber, die nicht natürlich, sondern weitgehend hausgemacht sind, eine Folge unserer eigenen Dummheit und Kurzsichtigkeit. Wir sind von einer globalen Klimaerwärmung bedroht, wenn sich die Erdatmosphäre gegen uns stellt. Wir sind von atomaren Massenvernichtungswaffen bedroht, da sich Kernwaffen in einigen der instabilsten Regionen der Welt ausbreiten. Wir sind von biologischen Massenvernichtungsmitteln wie aerogenen AIDS- oder Ebola-Erregern bedroht, die durch simples Husten oder Niesen übertragen werden können. Das könnte bis zu 98 Prozent der menschlichen Spezies vernichten. Zudem sehen wir uns weiterhin einer wachsenden Bevölkerung gegenüber, die die irdischen Ressourcen in rasender Geschwindigkeit aufbraucht. An irgendeinem Punkt könnten wir die Tragfähigkeitsgrenze der Erde überschreiten und uns in einem ökologischen Armageddon wiederfinden, in dem wir um die letzten verbliebenen Vorräte des Planeten konkurrieren.

Zu den selbstgeschaffenen Bedrohungen kommen Naturkatastrophen, auf die wir kaum Einfluss haben. Auf einer Skala von Jahrtausenden betrachtet, sehen wir uns dem Beginn einer neuen Eiszeit gegenüber. Im Lauf der letzten 100000 Jahre war der größte Teil der Erdoberfläche

von einer fast 800 Meter dicken Eisdecke überzogen. Die öde, gefrorene Landschaft führte zum Aussterben zahlreicher Tierarten. Dann, vor rund 10000 Jahren, setzte Tauwetter ein. Diese kurze Warmperiode brachte den plötzlichen Aufstieg moderner Zivilisationen mit sich, und die Menschheit hat sich diese Periode zunutze gemacht, um sich auszubreiten und zu vermehren. Doch dieser Aufschwung hat sich während einer Zwischeneiszeit (Interglazialperiode) entwickelt, was bedeutet, dass es innerhalb der nächsten 10000 Jahre wahrscheinlich zu einer weiteren Eiszeit kommen wird. Wenn sie eintritt, werden unsere Städte unter Bergen von Schnee verschwinden, und die Zivilisation wird unter einer Eisdecke begraben werden.

Zudem ist es möglich, dass der Supervulkan unter dem Yellowstone National Park aus seinem langen Schlummer erwacht, die Vereinigten Staaten auseinanderreißt und die Erde in eine erstickende, giftige Wolke aus Ruß- und Staubteilchen hüllt. Frühere Eruptionen fanden vor 630000 Jahren, 1,3 Millionen und 2,1 Millionen Jahren statt. Zwischen den Ereignissen lagen also ungefähr 700000 Jahre, daher steht uns in den nächsten 100000 Jahren vielleicht ein weiterer Ausbruch bevor.

Auf einer Skala von Millionen Jahren droht uns ein weiterer Meteoriten- oder Kometeneinschlag ähnlich dem, der vor 65 Millionen Jahren das Ende der Dinosaurier

einläutete. Damals schlug ein Felsbrocken von knapp 10 Kilometern Durchmesser auf der Halbinsel Yucatán im heutigen Mexiko ein und schleuderte feurige Trümmer in den Himmel, die anschließend zurück auf die Erde regneten. Wie beim Ausbruch des Toba-Vulkans, nur in viel größerem Maßstab, verdunkelten die Aschewolken anschließend die Sonne und führten weltweit zu Temperaturstürzen. Dadurch verkümmerte die Vegetation, und die Nahrungskette kollabierte. Pflanzenfressende (herbivore) Dinosaurier verhungerten, und das bedeutete auch das Ende für ihre fleischfressenden (carnivoren) Verwandten. Schließlich gingen 90 Prozent aller Lebensformen im Gefolge dieses katastrophalen Ereignisses zugrunde.

Jahrtausende lang hatten wir keine Ahnung davon, dass die Erde in einem Schwarm potenziell tödlicher Felsbrocken treibt. Erst in den letzten 20 Jahren haben Wissenschaftler begonnen, das reale Risiko eines großen Einschlags (Impakt) abzuschätzen. Inzwischen wissen wir, dass es mehrere tausend erdnahe Objekte (*near-Earth objects*, kurz NEOs) gibt, die die Erdumlaufbahn kreuzen und eine Gefahr für das Leben auf unserem Planeten darstellen. Bis Januar 2018 sind 17566 dieser Objekte katalogisiert worden. Aber das sind nur diejenigen, die wir gefunden haben. Astronomen schätzen, dass es

möglicherweise mehrere Millionen unkartierter Objekte im Sonnensystem gibt, die an der Erde vorbeiziehen.

Bei einem früheren Interview sprach ich mit dem Astronomen Carl Sagan über diese Bedrohung. Und er meinte zu mir: «Wir leben in einem kosmischen Schießstand», umgeben von potenziellen Risiken. Es sei nur eine Frage der Zeit, bis ein großer Asteroid die Erde treffe, so Sagan. Wenn wir all diese Asteroiden auf irgendeine Weise zum Leuchten bringen könnten, würden wir sehen, dass der Nachthimmel mit Tausenden von bedrohlichen Lichtpunkten gefüllt ist.

Selbst in dem Fall, dass wir all diese Gefahren überstehen, gibt es eine weitere Bedrohung, die alle anderen in den Schatten stellt. In fünf Milliarden Jahren wird sich die Sonne zu einem Roten Riesen aufblähen, der den ganzen Himmel füllt. Dann wird die Sonne so gigantische Ausmaße annehmen, dass die Umlaufbahn der Erde innerhalb der sengenden solaren Atmosphäre verläuft, und die höllische Hitze wird jedes Leben in diesem Inferno auslöschen.

Im Gegensatz zu allen anderen Lebensformen auf diesem Planeten, die sich passiv in ihr Schicksal ergeben müssen, sind wir Menschen Herr über unser eigenes Geschick. Zum Glück haben wir inzwischen begonnen, Werkzeuge zu schaffen, die uns ermöglichen, unseren schlechten natürlichen Chancen zu trotzen, sodass wir nicht zu einer

der 99,9 Prozent zum Aussterben bestimmten Lebensformen werden. In diesem Buch werden wir die Pioniere treffen, die über die Energie, die Vision und die Ressourcen verfügen, um das Schicksal der Menschheit zu verändern. Wir werden den Träumern begegnen, die glauben, dass die Menschheit im All leben und gedeihen kann. Wir werden die revolutionären technologischen Fortschritte analysieren, die es möglich machen, die Erde zu verlassen und uns anderswo im Sonnensystem und selbst jenseits davon niederzulassen.

Wenn es jedoch *eine* Lehre gibt, die wir aus der Geschichte ziehen können, dann die, dass sich die Menschheit angesichts von lebensbedrohenden Krisen der Herausforderung gewachsen gezeigt und immer nach noch höheren Zielen gestrebt hat. In gewissem Sinne steckt uns der Forschergeist in den Genen und ist fest in unserer Seele verankert.

Heute sehen wir uns jedoch der vielleicht größten aller Herausforderungen gegenüber: die engen Grenzen der Erde zu verlassen und uns ins All zu wagen. Die Gesetze der Physik sind klar; früher oder später werden wir uns globalen Krisen gegenübersehen, die unsere Existenz im Kern bedrohen.

Das Leben ist zu kostbar, um es auf einen einzigen Planeten zu beschränken und damit der Gnade all dieser planetaren Bedrohungen auszuliefern.

Wir bräuchten eine Versicherungspolice, erklärte mir Sagan. Er meinte, wir sollten eine «Zwei-Planeten-Species» werden. Mit anderen Worten: Wir brauchen einen Plan B.

In diesem Buch wollen wir die Geschichte, die Herausforderungen und die möglichen Lösungen diskutieren, die vor uns liegen. Der Weg wird nicht einfach sein, und es wird Rückschläge geben, aber uns bleibt keine Wahl.

Nach dem Beinahe-Aussterben vor rund 75000 Jahren wagten sich unsere Vorfahren in die weite Welt hinaus und begannen, die ganze Erde zu besiedeln. Dieses Buch wird, so hoffe ich, aufzeigen, welche Schritte nötig sind, um die Hürden zu überwinden, auf die wir in Zukunft ohne Zweifel stoßen werden. Vielleicht ist es unser Schicksal, zu einer Art zu werden, die auf vielen Planeten zu Hause ist und zwischen den Sternen lebt.

Einleitung

In Zukunft auf vielen Planeten zu Hause

Wenn es um unser langfristiges Überleben geht, haben wir eine grundsätzliche Verpflichtung unserer Art gegenüber, kühn nach anderen Welten zu greifen.

Carl Sagan

Die Dinosaurier starben aus, weil sie kein Raumfahrtprogramm hatten. Falls wir jemals aussterben sollten, weil wir kein Raumfahrtprogramm haben, dann geschieht es uns recht.

Larry Niven

Als Kind habe ich Isaac Asimovs *Foundation*-Trilogie gelesen, die als eine der berühmtesten Sagas in der Geschichte der Science-Fiction gilt. Ich war verblüfft, dass Asimov, statt über Schlachten mit Lasergewehren und Kriege mit Außerirdischen zu schreiben, eine einfache, aber profunde Frage stellte: Wo wird die menschliche Zivilisation in 50000 Jahren stehen? Was ist letztendlich unser Schicksal?

In seiner wegweisenden Trilogie entwarf Asimov das Bild einer Menschheit, die sich über die gesamte Milchstraße

ausgebreitet hat und Millionen Planeten besiedelt, welche zu einem riesigen galaktischen Reich vereinigt sind. Die Menschheit ist so weit gereist, dass die Lage der ursprünglichen Heimat, aus der diese große Zivilisation hervorging, im Nebel der Vorgeschichte verloren gegangen ist. Und in der Galaxie gibt es so viele hoch entwickelte Gesellschaften mit so vielen Menschen, die durch ein komplexes Netz wirtschaftlicher Bande verknüpft sind, dass es dank dieser riesigen statistischen Basis möglich ist, den zukünftigen Verlauf von Ereignissen so präzise vorherzusagen, als handele es sich um die Bewegung von Molekülen.

Vor Jahren lud ich Dr. Asimov ein, an unserer Universität zu sprechen. Während ich ihm zuhörte, war ich überrascht von der Breite seines Wissens. Dann stellte ich ihm eine Frage, die mich seit meiner Jugend interessierte: Was hatte ihn dazu gebracht, den *Foundation*-Zyklus zu schreiben? Wie war er dazu gekommen, sich ein Thema auszudenken, so groß, dass es die ganze Galaxie umfasste? Ohne Zögern antwortete er, er habe sich vom Aufstieg und Fall des Römischen Reiches inspirieren lassen. An der Geschichte des Reiches ließ sich ablesen, wie sich das Schicksal des römischen Volkes im Lauf seiner turbulenten Historie entwickelte.

Ich begann mich zu fragen, ob die Menschheit ebenfalls ein Schicksal hatte. Vielleicht besteht unser Geschick

darin, schließlich eine Zivilisation zu schaffen, die die gesamte Milchstraße umfasst. Vielleicht sind die Sterne wirklich unser Schicksal.

Viele der Themen, die sich durch Asimovs Werk ziehen, wurden schon früher, in Olaf Stapledons bahnbrechendem Roman *Der Sternenschöpfer (Star Maker)* angesprochen. In diesem Roman träumt der Held davon, durch den Raum zu treiben, bis er ferne Planeten erreicht. Als reines Bewusstsein driftet er durch die Galaxie, wandert von Sternensystem zu Sternensystem und besucht fantastische fremde Reiche. Einige von ihnen steigen zu bedeutender Größe auf und läuten eine Ära der Fülle und des Friedens ein, manche schaffen mit ihren Sternenschiffen sogar interstellare Reiche. Andere zerfallen, zerstört von Bitterkeit, Zwietracht und Krieg.

Viele der revolutionären Konzepte in Stapledons Roman fanden Eingang in nachfolgende Science-Fiction-Erzählungen. So entdeckt unser Held im *Sternenschöpfer* beispielsweise, dass viele sehr weit fortgeschrittene Zivilisationen bewusst ihre Existenz vor weniger entwickelten Zivilisationen geheim halten, um sie nicht versehentlich mit fortschrittlicher Technologie zu infizieren. Dieses Konzept ähnelt der Ersten Direktive, einem der Leitprinzipien der Föderation in den *Star-Trek*-Serien.

Unser Held stößt auch auf eine Zivilisation, die technisch so weit fortgeschritten ist, dass ihre Vertreter ihre Sonne in eine gigantische Kugel hüllen, um all ihre Energie zu nutzen. Dieses Konzept, das später als Dyson-Sphäre bezeichnet werden sollte, ist inzwischen ein fester Bestandteil der Science-Fiction-Literatur.

Er trifft auch auf eine Rasse von Individuen, die in ständigem telepathischen Kontakt zueinander stehen. Jeder kennt die intimen Wünsche der anderen. Diese Idee geht den Borg in *Star Trek* voraus, einer Gruppierung, bei denen sämtliche Individuen mental miteinander verbunden und dem Willen der Gesamtgesellschaft untergeordnet sind.

Und am Ende des Romans trifft der Held auf den Sternenschöpfer selbst, ein himmlisches Wesen, das ganze Universen schafft, alle mit eigenen physikalischen Gesetzen, und daran herumbastelt. Unser Universum ist nur eines in einem viel größeren Multiversum. Voller Staunen und Ehrfurcht beobachtet unser Held den Sternenschöpfer bei der Arbeit, wie dieser neue und aufregende Welten schafft und diejenigen verwirft, die ihm missfallen.

Stapledons wegweisender Roman war ein ziemlicher Schock für eine Welt, in der das Radio noch immer als Wunder der Technik galt. In den 1930er Jahren erschien die Idee einer raumfahrenden Zivilisation absurd. Damals waren Propellerflugzeuge Stand der Technik, die kaum die

Wolkendecke durchstoßen konnten, und die Möglichkeit, zu den Sternen zu reisen, erschien hoffnungslos weit entfernt.

Der Sternenschöpfer war sofort ein Erfolg.

Arthur C. Clarke bezeichnete ihn als einen der besten SF-Romane aller Zeiten. Er regte die Fantasie einer ganzen Generation von Nachkriegs-SF-Autoren an. In der allgemeinen Öffentlichkeit geriet der Roman jedoch inmitten des Chaos und des Gemetzels des Zweiten Weltkriegs bald in Vergessenheit.

Neue Planeten im Raum finden

Nun, da die Kepler-Sonde und irdische Astronomentams rund 4000 Planeten entdeckt haben, die um andere Sterne in der Milchstraße kreisen, beginnt man sich zu fragen, ob die von Stapledon beschriebenen Zivilisationen vielleicht tatsächlich existieren.

Im Jahr 2017 identifizierten NASA-Wissenschaftler nicht nur einen, sondern gleich sieben erdgroße Planeten, die um einen nahen, nur 39 Lichtjahre von der Erde entfernten Stern kreisen. Von diesen sieben Planeten befinden sich drei so nahe an ihrem Mutterstern, dass sie flüssiges Wasser aufweisen könnten. Schon sehr bald werden Astronomen sagen können, ob diese und andere Planeten eine Atmosphäre haben, die Wasserdampf enthält. Da

flüssiges Wasser das «universelle Lösungsmittel» ist und als ideale Umgebung für die organischen Verbindungen dienen kann, aus denen sich das DNA-Molekül zusammensetzt, ließe sich möglicherweise nachweisen, dass die Voraussetzungen für Leben im Universum häufig gegeben sind. Vielleicht stehen wir kurz davor, den Heiligen Gral der planetarischen Astronomie zu finden, eine Zwillingschwester der Erde im All.

Etwa um dieselbe Zeit machten Astronomen eine weitere bahnbrechende Entdeckung: Sie stießen auf einen erdgroßen Planeten namens Proxima Centauri b, der um den Stern Proxima Centauri kreist; dieser steht unserer Sonne am nächsten und ist nur 4,2 Lichtjahre entfernt. Wissenschaftler spekulieren, dass dieser Stern zu den ersten gehören wird, die erkundet werden.

Diese Planeten stellen nur einige wenige der neueren Einträge in die riesige Enzyklopädie extrasolarer Planeten dar, die praktisch jede Woche auf den neuesten Stand gebracht werden muss. Sie enthält seltsame, ungewöhnliche Sternensysteme, von denen Stapledon nur hätte träumen können – darunter Systeme, in denen sich vier oder mehr Sterne umeinander drehen. Wenn man sich irgendeine bizarre Formation von Himmelskörpern vorstellen kann, glauben manche Astronomen, dann existiert sie wahrscheinlich auch irgendwo in der Galaxie, solange sie kein physikalisches Gesetz verletzt.

Das heißt, dass wir grob abschätzen können, wie viele Planeten von Erdgröße es in der Milchstraße gibt. Da sie rund 100 Milliarden Sterne enthält, könnte es allein in unserer Galaxie 20 Milliarden erdgroße Planeten geben, die um einen sonnenähnlichen Stern kreisen. Und da es 100 Milliarden Galaxien gibt, die wir mit unseren Instrumenten sehen können, können wir abschätzen, wie viele erdgroße Planeten es im sichtbaren Universum gibt: erstaunliche zwei Milliarden Billionen.

Wenn man einmal realisiert hat, dass unsere Milchstraße voller bewohnbarer Planeten steckt, sieht man den Nachthimmel nicht mehr in derselben Weise wie zuvor.

Nachdem Astronomen diese erdgroßen Planeten identifiziert haben, wird das nächste Ziel sein, deren Atmosphäre zu analysieren und nach Sauerstoff und Wasserdampf zu suchen, die als Anzeichen für Leben gelten, sowie auf Radiowellen zu lauschen, die die Existenz einer intelligenten Zivilisation signalisieren. Eine derartige Entdeckung wäre einer der großen Wendepunkte der menschlichen Geschichte, vergleichbar mit der Beherrschung des Feuers. Sie würde nicht nur unsere Beziehung zum Rest des Universums neu definieren, sie würde auch unser Schicksal verändern.

Renaissance der Raumfahrt

Dank dieser aufregenden Entdeckungen von Exoplaneten und der frischen Ideen einer neuen Generation von Visionären erlebt das Publikumsinteresse an der Raumfahrt gegenwärtig eine Renaissance. Ursprünglich wurde das amerikanische Raumfahrtprogramm vom Kalten Krieg und der Rivalität der Großmächte befeuert. Die Öffentlichkeit hatte nichts dagegen, atemberaubende 5,5 Prozent des nationalen Bundeshaushalts in das Apollo-Mondprogramm zu stecken, weil das nationale Prestige auf dem Spiel stand. Dieser fieberhafte Wettstreit ließ sich jedoch nicht auf Dauer durchhalten, und die Finanzierung brach schließlich zusammen.

Vor rund 50 Jahren betraten amerikanische Astronauten zum ersten Mal die Mondoberfläche. Nun sind die Saturn-V-Rakete und das Space Shuttle demontiert und rosten, in Einzelteile zerlegt, in Museen und auf Schrotthalden, ihre Geschichte verstaubt in alten Büchern. In den darauf folgenden Jahren wurde die NASA als «Reisebüro für Reisen ins Nirgendwo» kritisiert. Jahrelang hat sie Zeit verschwendet, um doch nur dorthin zu kommen, wo schon alle anderen vor ihr waren.

Die wirtschaftliche Situation hat sich jedoch inzwischen geändert. Die Kosten für die Raumfahrt, die einst so hoch waren, dass sie das Budget einer Nation ernsthaft belasten

konnten, sind ständig gefallen, und zwar größtenteils durch den Zustrom von Energie, Geld und Enthusiasmus einer wachsenden Kohorte von Unternehmern. Unzufrieden mit dem Schneckentempo der NASA, haben Milliardäre wie Elon Musk, Richard Branson und Jeff Bezos ihre Scheckhefte gezückt, um neue Raketen zu bauen. Sie wollen nicht nur Profit machen, sondern sich auch ihren Jugendtraum erfüllen, nämlich zu den Sternen zu fliegen.

Inzwischen gibt es einen wiedererwachten nationalen Willen. Die Frage ist nicht länger, *ob* die USA Astronauten zum Roten Planeten schicken werden, sondern *wann*. Der ehemalige amerikanische Präsident Barack Obama meinte, Astronauten würden den Roten Planeten irgendwann nach 2030 betreten, und Präsident Donald Trump hat die NASA aufgefordert, dieses Ziel rascher zu erreichen.

Eine Flotte von Raketen und Raumschiffmodulen, die für eine interplanetare Reise geeignet sind – wie das Weltraum-Startsystem (Space Launch System, SLS) der NASA, eine Trägerrakete mit der Orion-Kapsel, und Elon Musks Falcon-Heavy-Trägerrakete mit der Dragon-Kapsel –, befindet sich in einer frühen Testphase. Sie werden den Transport schwerer Lasten übernehmen und unsere Astronauten zum Mond, zu den Asteroiden, zum Mars und weiter ins All bringen. Tatsächlich sind durch diese Mission so viel Publicity und Enthusiasmus entfacht worden, dass sich bereits ein Wettstreit zu entwickeln beginnt. Vielleicht

wird sich ein Raketenstau rund um den Mars bilden, wenn die verschiedenen Gruppen darum konkurrieren, die erste Flagge in den Marsboden zu rammen.

Manche Experten vertreten die Ansicht, dass wir in ein neues Goldenes Zeitalter der Raumfahrt eintreten und die Erforschung des Universums nach Jahren der Vernachlässigung wieder zu einem aufregenden Teil der amerikanischen Agenda werden wird.

Wenn wir in die Zukunft schauen, können wir in Umrissen erkennen, wie die Wissenschaft die Erforschung des Alls transformieren wird. Aufgrund revolutionärer Fortschritte auf einer breiten Front moderner Technologien können wir nun spekulieren, dass sich unsere Zivilisation eines Tages womöglich ins All wagt, um zu den Sternen zu reisen und Planeten zu besiedeln. Auch für dieses langfristige Ziel kann man inzwischen einen plausiblen Zeitrahmen angeben und abschätzen, wann gewisse kosmische Meilensteine erreicht sein werden.

In diesem Buch möchte ich die Schritte diskutieren, die nötig sind, um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen. Der Schlüssel, um zu verstehen, wie sich unsere Zukunft entwickeln könnte, liegt jedoch im Verständnis der Wissenschaft, die hinter all diesen wunderbaren Entwicklungen steckt.

Revolutionäre technologische Fortschritte

Wir wissen nicht, wo die Grenzen der Wissenschaft liegen, aber es könnte helfen, die bisherige Menschheitsgeschichte kurz Revue passieren zu lassen. Wenn unsere Vorfahren uns heute sehen könnten, was würden sie von uns denken? Den größten Teil der menschlichen Geschichte hindurch war unser Leben erbärmlich, ein Überlebenskampf in einer feindlichen, mitleidlosen Welt, und die durchschnittliche Lebenserwartung lag, auch aufgrund der hohen Kindersterblichkeit, bei 20 bis 30 Jahren. Die meisten Menschen waren Nomaden und trugen all ihr Hab und Gut auf dem Rücken. Jeder Tag war ein Kampf um Nahrung und Unterschlupf. Unsere Vorfahren lebten in ständiger Furcht vor Raubtieren, Krankheiten und Hunger. Wenn unsere Ahnen uns heute sehen könnten – mit unserer Fähigkeit, Bilder von einem Moment zum anderen über den ganzen Planeten zu schicken, mit bemannten Raketen, die zum Mond und noch weiter fliegen können, mit selbständig fahrenden Autos –, würden sie uns wohl für Magier und Zauberer halten.

Wie die Geschichte zeigt, kommen wissenschaftliche Revolutionen in Wellen, oft angeregt durch Fortschritte in der Physik. Im 19. Jahrhundert wurde die erste naturwissenschaftlich-technische Welle durch Physiker ermöglicht, die die Theorie der Thermodynamik

entwickelten. Das erlaubte Ingenieuren den Bau der Dampfmaschine, was die Lokomotive und die Industrielle Revolution nach sich zog. Dieser tiefgreifende technologische Wandel befreite die Zivilisation vom Fluch der Unwissenheit, zermürbender körperlicher Arbeit und Armut und katapultierte uns ins Maschinenzeitalter.

Im 20. Jahrhundert wurde die zweite Welle von Physikern in Gang gesetzt, die die Gesetze der Elektrizität und des Magnetismus entschlüsselten, was wiederum das elektrische Zeitalter auf den Weg brachte. Das ermöglichte die Elektrifizierung der Städte, denn es kamen Dynamos, Generatoren, TV, Radio und Radar auf. Die zweite Welle hob das moderne Raumfahrtprogramm aus der Taufe, das uns zum Mond brachte.

Im 21. Jahrhundert hat uns die dritte Welle des naturwissenschaftlichen Fortschritts, bei der Quantenphysiker an vorderster Front standen, High-Tech-Geräte wie Transistor und Laser beschert. Das machte den Supercomputer, das Internet, moderne Telekommunikation, GPS und die Masse der winzigen Chips möglich, die in jeden Bereich unseres Lebens vorgedrungen sind.

In diesem Buch werde ich die Technologien beschreiben, die uns bei der Erforschung der Planeten und Sterne noch weiter führen werden. In Teil I werden wir über die Bemühungen sprechen, eine permanente Mondbasis zu errichten und den Mars zu kolonisieren wie auch zu