

# Leseprobe aus:



ISBN: 978-3-499-60671-7

Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf [www.rowohlt.de](http://www.rowohlt.de).

Besiedeln wir demnächst den Mars? Wird Künstliche Intelligenz uns versklaven? Gibt es bald keine Landwirtschaft mehr? Fliegen wir mit dem Warpantrieb durch Raum und Zeit? Wann gibt es das erste Steak aus dem Bioprinter zu kaufen? Die Zukunft ist schon Realität, im positiven wie im negativen Sinne. YouTube-Star und Wissenschaftsjournalist Christoph Krachten berichtet darüber auf seinem YouTube-Kanal *clixoom Science & Future* dreimal die Woche – und jetzt in diesem Buch. Verblüffende Fakten und spannende Zukunftsperspektiven aus dem Reich der Naturwissenschaft.

Christoph Krachten ist einer der Pioniere der deutschen Online-Video-Szene. Nachdem er viele Jahre als TV-Journalist und Produzent gearbeitet hatte (u. a. für ARD, RTL, ZDF), erkannte er früh das Potenzial von Online-Video. Seine Show *clixoom* gibt es seit 2008. Auch darüber hinaus ist Krachten ein präsenter Netzwerker: u. a. als Verlagsgründer, Veranstalter der VideoDays oder beratendes Mitglied der Publizistischen Kommission der Deutschen Bischofskonferenz. Heute veranstaltet er sehr erfolgreich außergewöhnliche Onlinekurse für Social Media oder entwickelt innovative Softwarekonzepte für Social Media.

Christine Kirchhoff hat Wissenschaftsjournalismus studiert und lebt mit ihrer Familie in Köln. Seit 2017 ist sie Teil der Redaktion von *clixoom* und schreibt Skripte zu den Themen Astronomie, Medizin, Biologie und Physik.

Christoph Krachten

**Per Aufzug in den Weltraum**

Expeditionen in die nahe Zukunft

Rowohlt Taschenbuch Verlag

Originalausgabe  
Veröffentlicht im Rowohlt Taschenbuch  
Verlag, Hamburg, November 2020  
Copyright © 2020 by Rowohlt Verlag GmbH, Hamburg  
Mitarbeit an den Texten: Christine  
Kirchhoff, clixoom Science & Future  
Lektorat Frank Strickstrock  
Covergestaltung ZERO Media GmbH, München  
Coverabbildung FinePic®, München; Kike Photography  
Innengestaltung Daniel Sauthoff  
Satz National bei Dörlemann Satz, Lemförde  
Druck und Bindung GGP Media GmbH, Pößneck, Germany  
ISBN 978-3-499-60671-7

Die Rowohlt Verlage haben sich zu einer nachhaltigen  
Buchproduktion verpflichtet. Gemeinsam mit unseren Partnern  
und Lieferanten setzen wir uns für eine klimaneutrale  
Buchproduktion ein, die den Erwerb von Klimazertifikaten  
zur Kompensation des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes einschließt.

[www.klimaneutralerverlag.de](http://www.klimaneutralerverlag.de)

# Inhalt

- Einleitung: Die Zukunft hat schon begonnen
- Wissenschaft vs. Populismus
- Auf dem Weg in atemberaubende Zeiten
- Der Mars in Reichweite: Aufbruch ins Weltall
  - Die neuen Weltraum-Pioniere
  - Raumstation im Mondorbit
  - Alexander Gerst ermittelt
- Der Aufzug in den Weltraum – funktioniert!
  - Weltraumfahrt zum Spartarif
  - Mit dem Aufzug zum Mars
- An die Grenze gehen – Visionäre
  - Wir brauchen sie

# Einleitung: Die Zukunft hat schon begonnen

Die Welt ist anders, als wir denken. Vieles, was wir für unumstößlich halten, ist schon jetzt in einem Prozess der umfassenden Veränderung begriffen, im Positiven wie auch im Negativen. Und anderes ist längst geschehen. Als ich damit begann, dieses Buch zu schreiben, handelte ein Kapitel von der Unvermeidlichkeit einer Pandemie in der Zukunft. Inzwischen hat sie uns mit voller Wucht getroffen. Die Menschheit befindet sich mitten in einem umfassenden Umbruch. Und mitten in einer technologischen Revolution, die die Industrialisierung wahrscheinlich sogar in den Schatten stellen wird. Überall werden bahnbrechende Erkenntnisse gewonnen und oft in Technologien umgesetzt, die die Welt verändern. Immer öfter werden technologische Lösungen möglich, die vorher undenkbar waren. Um einen berühmten Satz zu zitieren: Was heute noch wie ein Märchen klingt, kann morgen Wirklichkeit sein.

Genau das sind die Themen, die ich in meinem YouTube-Kanal *Clixoom Science & Future* behandle. Ich möchte die Augen dafür öffnen, in was für einer unglaublichen Welt wir leben. Wie sich der technologische Wandel und der wissenschaftliche Fortschritt beschleunigen, wie aber auch die Gefahren mehr werden. Die Welt ist eben anders, als wir denken. Und ich freue mich, mit diesem Buch diese Perspektive jetzt auch einem erweiterten Publikum eröffnen zu können, denn ich finde sie unfasslich und staune jeden Tag aufs Neue. Dieses Staunen möchte ich in diesem Buch vermitteln. Unsere Spezies steht an einem Scheideweg. Es drohen dramatische Gefahren, aber auch unglaubliche Chancen. Meistern wir die Gefahren und nutzen wir die Chancen, dann könnte

eine phantastische Zukunft vor uns liegen. Schaffen wir beides nicht, werden wir womöglich aussterben und unsere Erde in einem traurigen Zustand zurücklassen.

Doch es gibt Hoffnung, und die gibt uns die Wissenschaft: In immer mehr Bereichen kommt es zu wahren Quantensprüngen. Es klingt ein wenig paradox, denn dieses Wort steht ja eigentlich für sehr kleine Schritte. Trotzdem wird es für extrem große Fortschritte benutzt, und das ist gar kein so schiefes Bild. Immer mehr Entdeckungen werden auch am CERN in seinen riesigen Teilchenbeschleunigern gemacht, wie zum Beispiel 2012 der Beleg für die Existenz des Higgs-Bosons, eines Elementarteilchens, ohne das das sogenannte Higgs-Feld der Materie seine Masse nicht verleihen könnte. Sprich: Sehr kleine Entdeckungen können heute sehr Großes bedeuten und zu riesigen Fortschritten führen.

## **Wissenschaft vs. Populismus**

Die Konsequenzen mancher dieser Entdeckungen sind absolut bahnbrechend. Supraleitung, Quantenkryptografie, Teilchenverschränkungen und vieles mehr machen heute Entwicklungen möglich, die früher in die Welt der Phantastereien gehörten. Genau das scheint zu einem immer größeren Problem für die Wissenschaft zu werden. Denn immer mehr Menschen wollen diesen Fortschritt auch nicht glauben. Populismus bricht sich Bahn, und schon an ganz einfachen Herausforderungen, zum Beispiel durch Impfverweigerer, drohen die Früchte des Fortschritts zu scheitern. Die Wissenschaft muss um ihre Glaubwürdigkeit kämpfen. Selbst Führer großer Staaten stellen sie in Frage. Verschwörungstheorien und Populismus verbreiten sich.

Und das ist verhängnisvoll. Auf den ersten Blick ist es vielleicht lustig, wenn die Mondlandung in Zweifel gezogen wird oder Menschen tatsächlich noch glauben, dass die Erde eine Scheibe ist. Doch auch das trägt zu einem geistigen Klima bei, in dem dann Kinder nicht geimpft werden und Epidemien ausbrechen. Oder dass Erderwärmung und Klimawandel in Frage gestellt werden. Oder dass man sich viel zu lange Zeit lässt und selbst von Regierungen wie der deutschen, die keinen Zweifel daran hegen, dass der Klimawandel eine ernsthafte Bedrohung ist, die Ergebnisse und Forderungen der seriösen Forscher nicht oder nur zögerlich umgesetzt werden.

Wir leben in einer Zeit der Zerreißprobe: Wissenschaft und Forschung eröffnen uns ungeahnte Möglichkeiten. Die Menschheit kann eine neue Stufe der Entwicklung erreichen. Andererseits hat Ignoranz bereits zum ersten Massenaussterben geführt, das von einer Spezies durch ihr bewusstes Handeln auf der Erde in

Gang gesetzt wurde. Wir sind durchaus in der Lage, schuldig an unserem eigenen Aussterben zu werden.

Zurück zum Positiven: Ein Beispiel für einen wirklich rasanten Fortschritt ist die Batterieentwicklung. Immer neue Materialien und Technologien werden eingeführt, und die Leistungsdichte steigt und steigt. Mit Graphen, einem Material, bei dem aus Kohlenstoff sehr kleine Strukturen gebaut werden, ist die Forschung in der Lage, neue bahnbrechende Technologien mit neuen verblüffenden, extrem leistungsfähigen Eigenschaften zu entwickeln, womit wir bei einem meiner Lieblingsthemen wären: dem Aufzug ins Weltall, der diesem Buch den Namen gegeben hat. Er ist ein Beispiel dafür, was in Zukunft alles möglich wird, aber und eben auch, was jetzt schon möglich und Realität geworden ist.

Eine Realität, die viele Menschen nicht begreifen, im Negativen wie im Positiven. Die Corona-Krise ist ein gutes Beispiel dafür, woran das liegt: an unserer grundlegenden Schwierigkeit, exponentielle Entwicklungen zu verstehen. Kaum jemand kann die Rasanz nachvollziehen, mit der aus 2000 Neuinfizierten in ein paar Tagen 4000, dann 8000, 16 000, 32 000, 64 000, 128 000, 256 000, eine halbe Million, eine Million, zwei Millionen, vier, acht, 16, 32, 64 Millionen und so weiter und so fort werden. Nur wenige Schritte, um von ein paar tausend zu Millionen Fällen zu kommen. In diesem Fall waren es neun. Es gleicht dem berühmten Beispiel mit den 64 Schachfeldern: Auf das erste Feld kommt ein Reiskorn, auf das zweite kommen zwei, dann vier, und am Ende sind es mehr Reiskörner, als auf der Erde existieren. Eine ähnliche Beschleunigung steht uns wahrscheinlich bei der technologischen Entwicklung von Quantencomputern und Künstlicher Intelligenz bevor.

Und noch ein Beispiel für das Tempo des Fortschritts aus den letzten zwanzig Jahren: der Flachbildschirm in

Verbindung mit immer schnelleren Datenverbindungen und immer schnelleren Prozessoren. Ich habe es selbst erlebt: Als ich mit den Planungen zu Online-Video begann, wurde ich für verrückt gehalten. Ohne Ausnahme wurde von meinen Kolleginnen und Kollegen bezweifelt, Datenübertragung und Prozessoren könnten so schnell werden, dass wir Videos im Netz sehen werden.

## **Auf dem Weg in atemberaubende Zeiten**

Doch im Grunde war es absehbar, denn das Moore'sche Gesetz der exponentiellen Entwicklung der Zahl integrierter Schaltkreise auf Prozessoren war ja bekannt, aber nur wenige begriffen es wirklich. Und der Flachbildschirm hat dann auch noch ermöglicht, dass wir heute tragbare Computer, Tablets und Smartphones haben, auf denen wir längst Online-Videos in einer atemberaubenden Qualität sehen können, wo wir gehen und stehen. Das Internet hat mit diesen Möglichkeiten unseren Alltag komplett umgekämpft. Corona hat dies übrigens durch vermehrte Videokonferenzen, Homeoffice und Telearbeit noch einmal deutlich beschleunigt.

Elektromobilität, Autonomes Fahren, Drohnen, Internet der Dinge, Überwachung, Forschungsmacht China, Wasserknappheit, steigender Meeresspiegel, regenerative Energie, Kernfusion und, und, und. In diesem Buch geht es um all diese und weitere Entwicklungen, auf die wir uns einstellen müssen - manche davon sind phantastisch und manche auch beängstigend.

# **Der Mars in Reichweite: Aufbruch ins Weltall**

Lange sah es so aus, als würde die Raumfahrt auf der Stelle treten. Die USA hatten noch nicht mal mehr ein Transportmittel, um Astronauten ins Weltall zu bringen. Nach dem letzten Flug eines Space Shuttle im Juli 2011 stand die NASA mit leeren Händen da. Es schien so, als sei die bemannte Raumfahrt für die westliche Welt einfach zu teuer. Lediglich das Sojus-Programm konnte weiter genutzt werden, und nur China schickte noch Taikonauten ins All, wie Astronauten und Kosmonauten dort genannt werden. Auch für die Internationale Raumstation ISS ist keine Nachfolge in Sicht, Flüge zum Mond finden seit mehr als 40 Jahren nicht mehr statt, und bei der NASA gibt es immer wieder Budget-Diskussionen. Steht die Raumfahrt also am Scheideweg? Werden wir es vielleicht nie schaffen, die Erde in nennenswerter Zahl zu verlassen? Ist die Wirtschaftsleistung unserer Zivilisation einfach zu klein, um Raumfahrt im großen Stil zu ermöglichen?

## **Die neuen Weltraum-Pioniere**

Als 1969 die ersten Menschen auf dem Mond landeten, sahen die Perspektiven noch ganz anders aus. Nichts schien unmöglich, und als dann die Space Shuttles an den Start gingen, erlagen alle der Illusion, dass Raumfahrt jetzt alltäglich werde. Damit war 2011 Schluss. Das Space-Shuttle-Programm war entgegen den ersten Kalkulationen viel zu teuer und mit zwei Abstürzen auch viel zu unsicher. Zwei Katastrophen, die sich in das Gedächtnis der gesamten Menschheit eingebettet haben. Sind wir zu weit gegangen? Ist die Menschheit an ihre Grenzen gestoßen? Lange schien es so.

Doch dann tauchten ein paar Pioniere am Horizont auf, die in den letzten Jahren teils Unglaubliches geschafft haben. Ebenso ikonisch wie die Bilder der Space-Shuttle-Abstürze wurde im positiven Sinn die parallele Landung zweier Booster der Falcon Heavy 2018, nachdem sie von ihrer Rakete abgesprengt worden waren. Die Trägerrakete des privaten Unternehmens SpaceX von Elon Musk erbrachte den Beweis, dass die Zukunft der Raumfahrt nicht vorbei ist. Es war das letzte Zeichen dafür, dass wirklich ein neues Zeitalter angebrochen ist. Und 2020, neun Jahre nach dem Ende des Space-Shuttle-Programms, sind zum ersten Mal wieder amerikanische Astronauten mit einer Raumkapsel zur Internationalen Raumstation geflogen. Und auch hier war der Hersteller SpaceX.

Und das ist kein nationales Ereignis. Diese Kapsel, die Crew Dragon, ist ein Meilenstein der Raumfahrt. Keine Hunderte Knöpfe und Anzeigegeräte, ein smartes Raumschiff mit Flachbildschirmen und wenigen Bedienelementen - und es bietet Platz für sieben Passagiere.

Wir brechen in den Weltraum auf! Was vor wenigen Jahren noch als utopisch galt, ist urplötzlich denkbar und

könnte morgen schon Wirklichkeit sein. Stephen Hawking lag wahrscheinlich gar nicht so falsch mit seiner vor seinem Tod noch einmal bekräftigten Forderung, dass wir zu neuen Welten aufbrechen müssen. Wenn wir es nicht wagen, werden wir früher oder später hier auf der Erde durch den Klimawandel, einen Supervulkan, einen Asteroiden oder eine Pandemie vernichtet. Eine ganze Reihe von Zukunftsforschern rechnet damit in den nächsten Jahrhunderten oder Jahrtausenden, zum Beispiel Carl Sagan oder Michio Kaku. Eine Spezies, die dauerhaft überleben will, muss in die Weiten des Welt- raums aufbrechen. Hawking gibt uns sogar nur noch hundert Jahre.



Ein historisches Bild. Zwei Seitenbooster von Falcon-Heavy-Schwerlastraketen von SpaceX landen im Juni 2019 nach erfolgreicher Mission parallel auf dem Kennedy Space Center.

Die Chancen, dass das machbar ist, werden tatsächlich immer größer. Zum einen wird auf immer mehr Planeten und Monden wie dem Mars oder dem Mond Wasser

entdeckt, das wir auf Missionen nutzen könnten. Zum anderen wird Raumfahrt durch Pioniere wie Elon Musk und Jeff Bezos mit ihren Unternehmen SpaceX und Blue Origin immer preiswerter. Und das ist entscheidend für die Eroberung des Weltraums. Durch die riesigen Schritte, die dort in den letzten Jahren technisch und auch finanziell gemacht wurden, haben sich die Möglichkeiten gründlich geändert. Was vor einigen Jahren noch eine unmögliche Kraftanstrengung gewesen wäre, wirkt jetzt fast schon wie eine Spazierfahrt. Rohstoffabbau auf dem Mond? Warum nicht? Eine Marskolonie? Da schicken wir direkt mal 1000 Raketen hin. Und auch die sicher noch utopische Perspektive eines Aufzuges in den Weltraum scheint realistischer zu werden.

Während der Start einer Saturn V noch rund eine Milliarde Dollar gekostet hat, sind die Kosten bei den Falcon-Raketen von SpaceX inzwischen auf unter 100 Millionen Euro gefallen. Neil Armstrong hatte Elon Musk noch mit auf den Weg gegeben, dass er seine ehrgeizigen Ziele nie erreichen würde. Aber das scheint Musk nur noch mehr motiviert zu haben. Schon jetzt hat er Fortschritte erzielt, die nicht nur Neil Armstrong für unmöglich gehalten hat.

## Raumstation im Mondorbit

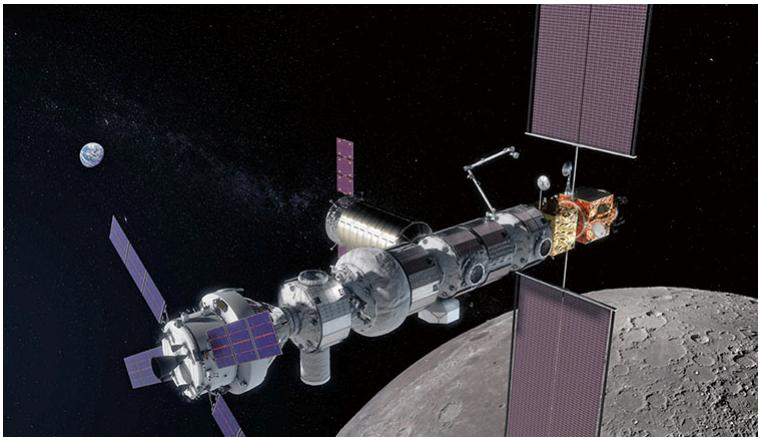
Und er ist nicht der Einzige in Aufbruchstimmung. Ganz konkret wird gerade an einer Raumstation für den Mondorbit gearbeitet, dem Deep Space Gateway (DSG), inzwischen in Lunar Orbital Platform-Gateway (LOP-G) umgetauft. Es ist ein Projekt, an dem NASA, ESA, die russische Roskosmos, die japanische JAXA und die kanadische CSA arbeiten. Die Raumstation im Orbit soll den Mond erforschen, später eine Mondstation versorgen und als Basis auch Flüge zu weiter entfernten Zielen in unserem Sonnensystem ermöglichen. Missionen, die von dort starten, benötigen viel weniger Treibstoff, da sie nicht von der Gravitation der Erde gehemmt werden. Die NASA plant die Station im Halo-Orbit des Mondes. Hier heben sich die Anziehungskräfte von Erde und Mond für einen dritten Körper, der mit ihnen die Sonne umkreist, auf. Schon ab 2022 soll mit dem Bau der Station begonnen werden. Ende des Jahrzehnts soll sie bereits einsatzbereit sein.

Und damit wäre der Betrieb einer Mondstation möglich. Vom Deep Space Gateway könnten kleinere Landeinheiten mit relativ geringem Aufwand Nachschub und Besatzungen zum Mond und auch wieder zurück bringen. Alternativ oder zusätzlich böte sich hier auch schon der Bau eines Weltraumaufzuges an, da der Aufwand dafür ungleich geringer ist als auf der Erde. Die ersten beiden Module der Raumstation, eines zur Energieversorgung und ein kleiner Wohnbereich, sollen nach derzeitiger Planung übrigens mit der Falcon-Heavy-Rakete in den Mondorbit befördert werden.

Der Lunar Orbital Platform-Gateway und eine Mondstation könnten wiederum das Sprungbrett für eine Marsmission sein. Elon Musk ist sogar noch ungeduldiger, wobei seine Zeitfenster-Angaben immer etwas kritisch gesehen werden müssen. Er will schon 2022 zum

Mars. Sein Starship, eine Neuentwicklung, soll einen baldigen Flug zum Mars möglich machen. Wobei das Datum inzwischen von der Webseite entfernt wurde. Eins muss man ihm aber lassen: Der Bau in Serie hat schon begonnen. Allerdings explodieren die Prototypen ebenso in Serie. Es ist Musk, der mit den erwähnten 1000 Raketen den Mars besiedeln will. Das Volumen seines Starship ist mit 825 Kubikmetern größer als das eines Airbus A380. Die Starships sind damit größer als alles, was Menschen bisher ins All geschossen haben. 118 Meter ist ihre Gesamthöhe einschließlich der Antriebsstufen.

Um überhaupt zum Mars zu gelangen, fliegt das Starship erst mal in eine Erdumlaufbahn und trifft dort auf Treibstofftanks, die vorher in den Erdorbit geschossen worden sind. Sie sind gefüllt mit Methan und Sauerstoff und treiben die Rakete auf dem Flug zum Mars an. Die ersten Missionen sollen nach Wasser und Rohstoffen und Gefahren für Menschen suchen. Die ersten Menschen, die dann zum Mars fliegen sollen, produzieren dort den Treibstoff für den Rückflug zur Erde. Vier Starships sollen zunächst zum Mars fliegen, zwei bemannnt und zwei unbemannnt. Mit diesen Flügen soll dann die erste Kolonie aufgebaut werden. Die Starships sollen wiederverwendbar sein, um die Kosten niedrig zu halten. Danach plant Musk, mit jedem Flug 100 Menschen plus Fracht in 40 Kabinen zum Mars zu fliegen. Die Starships sind zusätzlich mit großen Gemeinschaftsbereichen und Frachträumen ausgestattet.



Lunar Orbital Platform-Gateway: Die Raumstation von NASA, ESA und weiteren Betreibern soll bis Ende der 2020er Jahre den Mond umkreisen.

Doch es gibt auch ungeahnte Hürden auf dem Weg ins All. Sie haben sich erst in den letzten Jahren durch den Betrieb der Internationalen Raumstation gezeigt. Unser Organismus reagiert viel heftiger auf den längeren Aufenthalt in der Schwerelosigkeit als bisher angenommen. Es fängt an mit den Augen. Zwei Drittel aller Astronauten und Astronautinnen berichten von stark nachlassender Sehkraft. Die Augäpfel werden auf der Rückseite flacher und verschieben dadurch die Retina mit den lichtempfindlichen Zellen.

Ursache sind wahrscheinlich Veränderungen des Drucks in der Hirn- und Rückenmarksflüssigkeit. Auf der Erde, wenn Gravitation und stärkere Bewegungen auf das Gehirn einwirken, soll die Hirnflüssigkeit diese dämpfen. In der Schwerelosigkeit verliert sie letztlich ihre Funktion. Besatzungsmitglieder, die länger auf der Internationalen Raumstation waren, hatten danach deutlich mehr Hirnflüssigkeit. Und die Verformungen der Augäpfel gehen nach der Rückkehr zur Er-

de nicht bei allen zurück. Dazu kommen Muskel- und Knochenschwund, die Schwächung des Immunsystems, die kosmische Strahlung könnte unfruchtbar machen. Und jüngst wurde noch das Weltraumfieber entdeckt. Im Weltraum nimmt die Körpertemperatur über zwei-einhalb Monate um ein Grad zu und pendelt sich dann ein. Bei körperlicher Beanspruchung steigt sie auf über 40 Grad, und das ist gefährlich. Wir wissen, dass ab 41 Grad Celsius Körpertemperatur Lebensgefahr besteht. Körpereigene Eiweiße verfestigen sich dann und verstopfen Gefäße. Und körperliche Anstrengung ist wiederum wichtig, um den Knochen- und Muskelabbau aufzuhalten. Er kann damit sogar komplett gestoppt werden. Doch der Preis könnte tödliches Fieber sein.

Gleichwohl wird es immer normaler, im Weltraum zu leben, mit Begleiterscheinungen, wie es sie auch auf der Erde gibt. Alexander Gerst ist der erste deutsche Kommandant der Internationalen Raumstation (ISS) gewesen. Mehr als 200 Tage hat er am Ende insgesamt im Rahmen von vier Missionen auf der ISS verbracht. Zum Vergleich: Konventionelle Schätzungen setzen für eine Reise zum Mars 200 bis 240 Tage an, Elon Musk will es mit seiner Großraum-Rakete in 80 bis 120 Tagen schaffen.



*Big Falcon Rocket*, das jüngste und größte SpaceX-Projekt, als Kunstzeichnung. Die obere Raketenstufe (vorne) heißt *Starship*, die untere (hinten) *Super Heavy*. Ziel ist die Entwicklung einer vollständig wiederverwendbaren Universal-Rakete mit über 100 Tonnen Nutzlast.

## Alexander Gerst ermittelt

Alexander Gerst war übrigens der erste Astronaut, der im Weltraum ermitteln musste. Was geschah in der Sojus-Kapsel, die ihn zur ISS gebracht hatte? Plötzlich entwich aus der ISS nämlich die Atemluft. Das Team musste das Leck finden und spürte es in der Sojus-Kapsel MS-09 auf. Das Erschreckende: Es war ein Loch, und dieses Loch war von Menschenhand gebohrt worden. Was ist dort also passiert? War es eine Schlampigkeit auf der Erde bei der Fertigung der Kapsel? Oder war es sogar Sabotage? Die russische Weltraumagentur Roskosmos hat von Gerst und seinen Kollegen Proben der Außenhaut rund um das Loch zur Untersuchung bekommen. Und Dmitri Rogosin, Chef von Roskosmos, meint, dass die Ursache für das Loch klar sei. Er würde sie jedoch nicht veröffentlichen.

Es gibt also noch viele Risiken bei längeren Raumfahrtmissionen. Einige können wir vielleicht minimieren, mit anderen müssen wir im Weltall wahrscheinlich leben.

# **Der Aufzug in den Weltraum - funktioniert!**

In den Weltraum zu gelangen, war schon immer ein Menschheitstraum, und der Visionär Jules Verne beschrieb bereits 1865 in seinem Roman «Von der Erde zum Mond» einen Raumflug zu unserem Trabanten. Fast exakt hundert Jahre später hat die Menschheit dieses lange für utopisch gehaltene Ziel erreicht. Dass unsere Zivilisation diesen Traum in die Realität umgesetzt hat, führt uns vor Augen: Es ist möglich, vermeintlich unerreichbare Ziele zu erreichen.

Vor allem schien es lange unmöglich, der Erdgravitation zu entkommen. Woher die Energie dazu nehmen? Es war wie ein fliehendes Ziel: Je weiter die Entfernung von der Erde sein sollte, desto mehr Treibstoff wurde benötigt. Und je mehr Treibstoff benötigt wurde, desto schwerer wurde die Rakete. Bis die Technik im 20. Jahrhundert so weit entwickelt war, dass das Mehr an Treibstoff dennoch mehr als nur sein Eigengewicht aus dem Erdorbit befördern konnte. Mit der bis heute immer noch größten gebauten Rakete, der Saturn V, gelang das für unmöglich Gehaltene. 1969 landeten mit Neil Armstrong und Buzz Aldrin zwei amerikanische Astronauten auf dem Mond.

## **Weltraumfahrt zum Spartarif**

Doch für das gesamte Apollo-Programm, das dahinterstand, wurde ein gigantischer Aufwand getrieben. Insgesamt bis zu 400 000 Menschen arbeiteten daran. Es kostete nach heutigem Wert des Dollar 120 Milliarden und wurde deshalb schließlich eingestellt. Und auch das Nachfolgeprogramm, der Bau und Einsatz der Space Shuttles, wurde am Ende wegen des hohen Aufwandes aufgegeben.

Seitdem wird fieberhaft nach einem Weg gesucht, die Raumfahrt wieder realisierbar zu machen. Wir schießen zwar laufend Satelliten in den Orbit und senden Sonden in die Weiten des Alls, doch Astronauten noch einmal zum Mond zu schicken - oder sogar zum Mars -, das haben wir bisher nicht geschafft. Es ist immer noch zu teuer und zu aufwendig. Elon Musk ist jedoch mit seinem privaten Projekt SpaceX auf einem guten Weg. Oder auch Jeff Bezos, der Amazon-Chef; er möchte mit seinem Unternehmen Blue Origin auch schon bald wieder Menschen auf den Mond schicken. Und bei dieser Mission soll dann, laut NASA, auch zum ersten Mal eine Astronautin den Mond betreten. Richard Bransons Unternehmen Virgin Galactic arbeitet daran, Raketen mit Flugzeugen in obere Luftsichten zu bringen und von dort aus zu starten, was durch die dünnerne Luft und die geringere Erdanziehungskraft erheblich Treibstoff sparen würde.

Die Verwirklichung des Ziels, die Kosten zu senken und Raketen zu bauen, die wieder Passagiere zum Mond bringen können, rückt also in erreichbare Nähe. Und es geht dabei um nicht mehr und nicht weniger als die Eroberung des Weltalls. Es werden Transportmittel benötigt, die Astronauten, Astronautinnen und Fracht kostengünstig und im großen Stil in den Weltraum bringen kön-

nen. Erst wenn diese Frage gelöst ist, werden wir den Weltraum weiter erkunden können. Erst dann wird es möglich, größere Raumschiffe zu konstruieren und aus dem Erdorbit zu starten, Raumstationen zu bauen und andere Planeten zu besiedeln. Erst dann können wir die Idee umsetzen, uns so über den Weltraum zu verteilen, dass unsere Spezies nicht mehr durch eine Katastrophe auf der Erde vernichtet werden kann oder sich durch den Klimawandel selbst auslöscht. Für Stephen Hawking war es die letzte große Herausforderung der Menschheit, um das Überleben unserer Zivilisation zu sichern.

Eines der spektakulärsten Projekte, wie die Reise zum Mond lange Zeit als unmögliches Unterfangen angesehen, ist der Aufzug ins Weltall. Auch diese Idee stammt aus dem 19. Jahrhundert, genauer aus dem Jahr 1895. Der Russe Konstantin Ziolkowski stellte sich, inspiriert von dem wenige Jahre zuvor fertiggestellten Eiffelturm, einen 35 786 Kilometer hohen Turm vor: mit einem Lift in den Weltraum. Allerdings ist die Idee in der Form nie verfolgt worden. Ein derart hohes Bauwerk ist mit den heutigen technischen Mitteln nicht denkbar.

Eher schon ist eine andere Herangehensweise an das Projekt interessant: ein langes Seil, das bis in den Welt Raum gespannt wird. Enden soll es im geostationären Orbit der Erde, wo Objekte in einer Entfernung um die Erde kreisen, in der sich Gravitation und Fliehkraft bei der gleichen Winkelgeschwindigkeit wie der der Erde ausgleichen. Das Objekt befindet sich dadurch immer über demselben Punkt. Lange wurde es als senkrecht verlaufendes Seil in den Weltraum gedacht, doch durch die Erdumdrehung gibt es einen Mitnahmeeffekt, der ähnlich wie beim Abschleppen eines Autos wirkt. Die Erde zieht an dem Seil, und deshalb muss es deutlich länger als 35 786 Kilometer sein, nämlich rund 100 000 Kilome-

ter. Eine Bedingung, die es nicht gerade leicht macht, ein solches Seil zu konstruieren. Es würde nämlich unter seinem Eigengewicht zerreißen. Mit Stahl würde das schon bei einer Länge von knapp 30 Kilometern passieren.

Doch einer der Experten für dieses Thema, der Physiker Bradley Edwards, ist sich sicher, dass alle technischen Herausforderungen zu bewältigen sind. Seit 1998 veröffentlicht er Studien zum Weltraumaufzug. 2000 und 2003 wurden sie sogar von der NASA unterstützt. Nach seinem Konstruktionsplan würde das Seil nicht unter dem Eigengewicht reißen. Der Aufzug würde sich natürlich viel langsamer als Raketen bewegen, dafür aber mit weitaus weniger Energie viel größere Frachten transportieren können. Statt nämlich Unmengen an Energie aufzubringen, um die Erdbeschleunigung von  $9,81 \text{ m/s}^2$  zu überwinden, muss hier nur die Energie aufgewendet werden, um die Höhendifferenz zu überwinden. Das Seil trägt das Gewicht und hält den Aufzug auf dem erreichten Level. Es ist ein einfaches, aber geniales Prinzip.

Wie aber wird die Kabine mit Energie versorgt? Wie muss das Seil beschaffen sein, damit es nicht reißt? Wie also kann ein Seil hergestellt werden, das extrem leicht und lang ist? Bradley Edwards meint, diese Probleme gelöst zu haben. Das im wahrsten Sinne des Wortes zentrale Element des Aufzuges soll ein Seil aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen sein. Mit einem Durchmesser von 3 Millimetern ist dieser Faden in der Lage, ein Gewicht von 45 Tonnen zu tragen. Ein Kilometer dieses Seiles wiegt nur 400 Gramm. Das Seil wird dabei an einem Satelliten in 35 786 Kilometern Höhe und an einer Plattform zum Beispiel auf See befestigt. Dadurch könnte es auch problemlos Weltraumschrott ausweichen.

Indessen gibt es Zweifel an der Realisierbarkeit. Das Material für das Seil existiert zwar. Aber kann daraus

wirklich ein so langes Seil hergestellt werden? Bisher gibt es keine Forschungen dazu, wie Nanoröhrchen für ein solches Seil zu optimieren wären. Aber für die Lösung anderer Probleme gibt es schon Ideen. So könnte die Kabine von der Erde aus durch Laserstrahlen mit Energie versorgt werden. Schwingungen, die durch Luftbewegungen und die Kabinen selbst verursacht werden, könnten durch Gegenschwingungen von der Bodenstation ausgeglichen werden. Beschädigungen könnten durch ständige Reparaturen behoben werden.

Edwards ist sich seiner Sache sicher. Und auch das amerikanische Unternehmen Liftport bastelt am «Space Elevator». Es sammelt zurzeit per Crowdfunding Geld ein, um den Weltraumaufzug tatsächlich zu bauen. Die Kosten werden auf 15 Milliarden Dollar geschätzt.



Der Space Elevator der NASA als Zeichnung. Das Prinzip des Weltraumaufzugs würde in einem Orbit um den Mond ebenfalls funktionieren.

In Japan ist man schon weiter. 2018 wurde das Modell eines Aufzuges an der Internationalen Raumstation ISS getestet. Zwei Cubesats, also Minisatelliten, wurden mit einem Seil aus der Stoffverbindung Kevlar verbunden, und ein Container wurde daran mit einem Motor bewegt. Der Test wurde von einem Forschungsteam der Universität von Shizuoka und dem Bauunternehmen Obayashi durchgeführt. Bis Mitte des Jahrhunderts soll der Aufzug Realität geworden sein. Sogenannte Climber sollen dann zwischen einer Raumstation und der Erde hin- und

herfahren. Die Climber sollen 18 Meter lang sein, einen Durchmesser von sieben Metern haben und rund 30 Passagiere in den Weltraum befördern können.

Der nächste Schritt auf dem Weg ins Weltall könnte also zunächst in einen Aufzug führen; ein ziemlich utopischer Plan, aber denkbar, so wie Jules Verne die Reise zum Mond vorhergesehen hat. Und es wäre ein viel größerer Schritt für die Menschheit, als ihn damals Neil Armstrong getan hat. Vielleicht ist er nicht ganz so symbolträchtig, aber er wird unsere Welt verändern. Von einem auf den anderen Tag könnten wir Menschen und Fracht für fast zu vernachlässigende Kosten in den Weltraum bringen. Und Raumflugkörper in verschiedenen Höhen vom Aufzug entkoppeln und auf die Reise schicken. Das eröffnet im wahrsten Sinne des Wortes ganz neue Dimensionen. Missionen in die entlegensten Bereiche unseres Sonnensystems wären realisierbar.

Und eine Stippvisite ins All könnte sich fast jeder leisten: in eine wirklich unglaubliche Entfernung von der Erde, denn die Internationale Raumstation ISS kreist in lediglich 400 Kilometern um unseren Heimatplaneten. Die Raumstation am Ende des Aufzuges wäre neunzig Mal weiter von der Erde entfernt als die ISS.

## **Mit dem Aufzug zum Mars**

Und übrigens: Die zahlreichen Studien und Überlegungen zeigen, dass all diese Techniken jetzt schon zum Bau von Weltraumaufzügen genutzt werden könnten, nämlich auf dem Mars und auf dem Mond. Und da würde schon heute verfügbares Material wie Kevlar vollkommen ausreichen. Die Menschheit könnte also vielleicht schon viel früher einen solchen Weltraumaufzug einsetzen, als wir heute ahnen. Durch die Forschungen in diesem Bereich sind wir diesem Ziel fast unbemerkt so nah gekommen, dass wir es zunächst an anderen Orten umsetzen könnten. Und mit den dort gemachten Erfahrungen rückt ein solcher Aufzug dann auch auf der Erde in greifbare Nähe.

# An die Grenze gehen - Visionäre

Steve Jobs meinte einmal zum Thema Marktforschung: Hätte er sie angestellt, so wäre kein einziges Produkt von Apple jemals entstanden. Und recht hatte er. Als der Personal Computer kurz vor seinem Siegeszug stand, hieß es noch, dass niemand so etwas zu Hause gebrauchen könne, da niemand diese (damals noch sehr schwache) Rechenleistung benötige. Ken Olsen, Gründer der Computerfirma Digital Equipment Corp., machte 1977 die wenig visionäre Aussage: «Es gibt keinen Grund, warum irgendjemand einen Computer in seinem Haus haben wollen würde.» Da hat er sich geirrt, und zwar massiv. Offensichtlich fehlte es diesen Voraussagen an Phantasie. Und dann kam der Apple I und danach der erste Rechner für die Massen, der Apple II, und damit VisiCalc, das erste Tabellenkalkulationsprogramm. Eine absolute Revolution, ein Taschenrechner auf einem virtuellen Blatt Papier, mit dem man Formeln und Werte überall und jederzeit ändern konnte. Mit diesem Programm zeigte der Computer, warum er ein Gerät für jedermann ist.

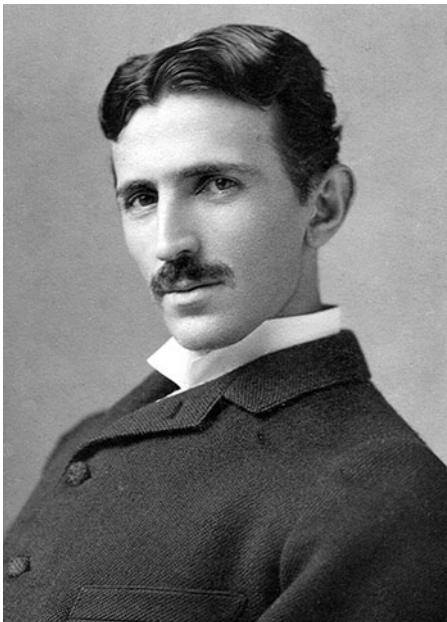
## **Wir brauchen sie**

Heute gehört er zu unserem Alltag, und als Smartphone tragen wir ihn ständig bei uns. Wir schreiben damit Dokumente und versenden sie direkt, wir kaufen ein, wir lesen, hören, schauen Videos, drehen Videos und machen Fotos, wir suchen sogar Partner damit. In den siebziger Jahren war das noch absolut unvorstellbar, und bei einer Umfrage hätte niemand auch nur im Entferntesten an dieses Produkt und seine Möglichkeiten denken können. Sprich: Wenn wir nur das für die Zukunft prognostizieren und in Angriff nehmen, was uns möglich erscheint, dann würden wir womöglich noch im Mittelalter leben. Wir brauchen also die Innovation, wir brauchen Menschen, die Visionen haben. Und wer Menschen mit Visionen, wie Helmut Schmidt einmal, zum Arzt schicken will, der hat die Triebfeder unserer Zivilisation nicht verstanden.



Elon Musk

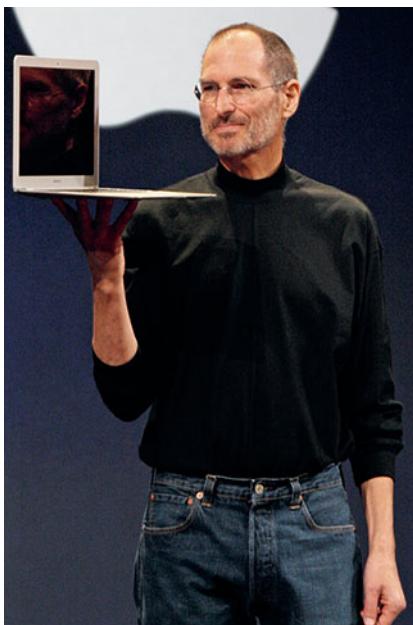
Wir brauchen diese Menschen, und wir brauchen ihre kühnen Projekte, mit denen sie an die Grenzen zum Scheitern gehen. Steve Jobs war ein solcher Mensch, ohne den es manche Erfindung, den Personal Computer, die grafische Benutzeroberfläche, das Smartphone, nicht oder zumindest viel später gegeben hätte. Er ist große Risiken eingegangen, hat aber am Ende eines der wertvollsten Unternehmen der Menschheitsgeschichte aufgebaut.



Nikola Tesla 1890

Menschen wie dieser haben in den letzten 150 Jahren immer wieder für bahnbrechende Entwicklungen gesorgt oder ihre Grundlagen entwickelt. Nikola Tesla, die Gebrüder Mannesmann, Albert Einstein, Marie Curie und, und, und. Allen ist gemeinsam, an die Grenzen zu gehen, nicht aufzugeben und diese Grenzen auch einmal zu überschreiten. Elon Musk hat gleich zwei Dinge vollbracht. Er hat es geschafft, die Raumfahrt mit SpaceX durch dramatische Kostensenkungen viel billiger zu machen und damit komplett andere Projekte zu ermöglichen. 2020 startet er schnelles Internet für die USA und 2021 weltweit mit Hilfe einiger hundert seiner Starlink-Satelliten, von denen er mit seinen Falcon-Raketen Tausende und am Ende Zehntausende in den Erdorbit

bringen will. Er baut mit der Falcon Heavy die zurzeit stärkste Rakete der Welt.



Steve Jobs

Und auch den Automobilbau revolutionierte er. Er schuf das erste wirklich praxistaugliche Elektroauto. Schneller als alle anderen Hersteller identifizierte er das Hauptproblem, das Batterieproblem, bei der Elektromobilität und löste es mit einem ausgeklügelten Batteriemagementsystem. Die Batterien eines Tesla verlassen niemals den optimalen Temperaturbereich, halten deshalb deutlich länger als andere Entwicklungen und stellen dauerhaft optimale Fahrleistungen zur Verfügung. Tesla hat seine Patente freigegeben. Andere Produzenten können ihre Technologien jetzt darauf aufbauen,

was die Innovationen in diesem Bereich erst möglich gemacht hat.

Es geht darum, innovative, wirklich bahnbrechende Visionen zu entwerfen und sie dann auch in die Tat umzusetzen. Und Bedenken sind dann nicht dazu da, ein Projekt für unrealisierbar zu erklären, sondern die Rahmenbedingungen zu definieren und die Herausforderungen einzugrenzen. Ein gutes Beispiel dafür ist das iPhone. Nach seiner Präsentation verstiegen sich einige Mobiltelefonhersteller sogar dazu, Steve Jobs eine große Lüge zu unterstellen. Sie hielten es für ausgeschlossen, dass die nötige Technik überhaupt in ein solch kleines Gehäuse passen würde. Und das waren keine Laien, sondern absolute Experten und Expertinnen in diesem Bereich. Unsere Erfahrung ist eben nur begrenzt, und wir können uns nicht auf sie verlassen, wenn neue Wege gegangen werden. Deshalb sollten wir nicht misstrauisch sein, sondern neugierig, wenn Visionen Realität werden sollen.

[...]