

KOSMOS

**ASTRO
TIM^s**

STERN STUNDEN

**UNSERE ZUKUNFT
BEGINNT IM ALL**



TIM JULIAN RUSTER
@AstroTim

**ASTRO
TIMs**

STERN STUNDEN

**UNSERE ZUKUNFT
BEGINNT IM ALL**

TIM JULIAN RUSTER
@AstroTim

KOSMOS

INHALT

Prolog: Die Sterne rufen 5

Eine kurze Geschichte der Astronomie.
Vom Lagerfeuer zum Weltraumteleskop 10

STUFE I. IN 50 JAHREN

**MOND UND MARS ALS
ZWEITE HEIMAT 16**

STUFE II. IN 100 JAHREN

**EISMONDE UND ASTEROIDEN-
BERGBAU 50**

STUFE III. IN 200 JAHREN

**AD ASTRA: AUF NACH
PROXIMA CENTAURI 84**

STUFE IV. IN 400 JAHREN

DIE EROBERUNG DER GALAXIS 120

STUFE V. IN 800 JAHREN

**DYSON-SPHÄREN UND DER AUFSTIEG
AUF DER KARDASCHOW-SKALA 154**

STUFE VI. IN 1000 JAHREN

DIE ZÄHMUNG DER PHYSIK 186

Epilog: Eine Reise, die niemals endet 216

Weiterführende Literatur 220

Bildnachweis 223

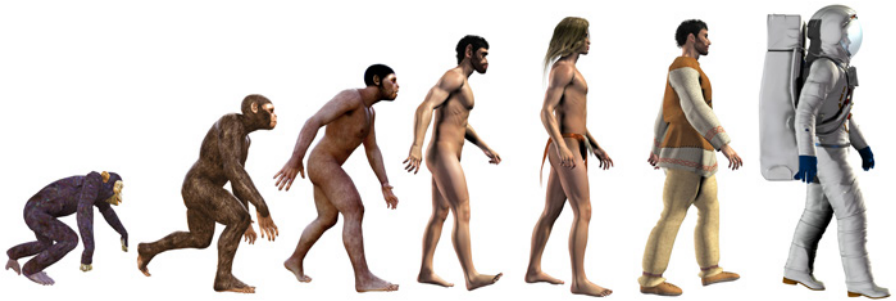
Impressum 224

EINE KURZE GESCHICHTE DER ASTRONOMIE

VOM LAGERFEUER ZUM WELTRAUMTELESKOP

Stellen Sie sich vor, Sie sitzen an einem lauen Sommerabend am Lagerfeuer. Die Flammen flackern, Funken steigen in den Nachthimmel auf und vermischen sich mit den Sternen. Dieses Bild ist uralt – schon unsere frühesten Vorfahren müssen so in den Himmel gestarrt haben. Nur dass sie dabei vermutlich etwas weniger an Marshmallows dachten als wir heute und mehr daran, ob sie am nächsten Tag von einem Säbelzahn tiger gefressen werden.

Die Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften. Schon in prähistorischer Zeit beobachteten Menschen den Nachthimmel. Sie erkannten Muster in den Sternen und verknüpften sie mit ihren Mythen und Göttern. Gleichzeitig nutzten sie ihre Beobachtungen ganz praktisch: zur Zeitmessung, Navigation und für die Landwirtschaft. Wenn die Sterne einer bestimmten Konstellation zu sehen waren, wusste man, dass es Zeit für die Aussaat war. Und wenn sie verschwanden, war dies das Signal für die Jagdsaison. Die Sterne waren sozusagen der erste Bauernkalender.



Im Laufe der Evolution haben wir eine erstaunliche Entwicklung durchgemacht: Aus dem Staube der Savanne haben wir uns mittlerweile bis zum Mond hochgearbeitet!

Frühe Hochkulturen wie die Babylonier, Ägypter und Chinesen verfeinerten diese Kenntnisse. Sie erstellten detaillierte Sternenkataloge und konnten sogar Sonnenfinsternisse vorhersagen. Die Babylonier entdeckten als erste, dass es am Himmel ein paar besondere Lichtpunkte gab, die sich anders bewegten als der Rest – die Planeten. Sie berechneten die Bahn des Jupiters mit erstaunlich fortschrittlichen mathematischen Methoden – wie wir aus der Analyse von alten Keilschrifttafeln wissen, kalkultierten sie anhand eines Trapezdiagramms die Bewegung und Geschwindigkeit des Gasplaneten. Eine erstaunliche Leistung, die wohl einigen modernen Zeitgenossen selbst nach zehn Jahren Mathematikunterricht nicht gelingen würde!

In der Antike machten besonders die Griechen große Fortschritte. Aristoteles behauptete im 4. Jahrhundert v. Chr., die Erde sei eine Kugel. Seine Argumente: Schiffe verschwinden am Horizont, der Erdschatten auf dem Mond bei einer Mondfinsternis ist rund, und von verschiedenen Orten aus sieht man unterschiedliche Sterne.

Etwa 200 Jahre später berechnete Eratosthenes sogar den Erdumfang – mit erstaunlicher Genauigkeit. Er wusste, dass die Sonne am Tag der Sommersonnenwende in der Stadt Syene (heute Assuan) senkrecht stand und einen Brunnen bis zum Grund beleuchtete. In Alexandria, etwa 800 km nördlich, warf ein Obelisk zur gleichen Zeit einen Schatten. Aus dem Winkel dieses Schattens und der Entfernung zwischen den Städten berechnete er den Erdumfang auf etwa 39.600 km – nur etwa ein Prozent daneben. Umso deprimierender, dass es heute – mehr als 2000 Jahre später – immer noch überzeugte Flacherdler gibt ...

Das ptolemäische Weltbild, benannt nach dem Astronomen Claudius Ptolemäus, dominierte dann für über 1000 Jahre die Wissenschaft. Es platzierte die Erde ins Zentrum des Universums, mit Sonne, Mond und Planeten, die sich in komplizierten Bahnen um sie drehten. Dieses geozentrische Modell passte perfekt zur damaligen Weltsicht: Der Mensch als Krone der Schöpfung im Mittelpunkt von allem – eine Art kosmischer Egotrip. Im Mittelalter machten vor allem arabische Gelehrte wichtige astronomische Entdeckungen. Sie verbesserten Instrumente wie das Astrolabium, mit dem man die Position von Himmelskörpern bestimmen konnte. Die eigentliche Revolution kam aber mit Nikolaus Kopernikus im 16. Jahrhundert. Er stellte die These auf, dass sich die Erde um die Sonne dreht und nicht umgekehrt. Das heliozentrische Weltbild war geboren. Allerdings traute sich Kopernikus erst auf dem Sterbebett, sein Werk zu veröffentlichen. Galileo Galilei griff diese Idee auf und untermauerte sie mit Beobachtungen durch sein selbstgebautes Teleskop. Er entdeckte die vier größten Monde des Jupiters, die Phasen der Venus und Berge auf dem Mond. Das brachte ihm zwar Ärger mit der Kirche ein, aber hey – dafür ist er heute auf italienischen Euromünzen verewigt!

Johannes Kepler formulierte dann Anfang des 17. Jahrhunderts seine drei Gesetze der Planetenbewegung. Er zeigte, dass sich Plane-

ten auf elliptischen Bahnen bewegen und nicht auf perfekten Kreisen, wie man vorher dachte. Das muss für die damaligen Perfektionisten ein Schock gewesen sein – das Universum, unperfekt? Blasphemie!

Einen immensen Durchbruch brachte schließlich Isaac Newton Ende des 17. Jahrhunderts mit seinem Gravitationsgesetz. Er erklärte, warum sich die Himmelskörper so bewegen, wie sie es tun. Angeblich inspiriert durch einen fallenden Apfel, formulierte er ein universelles Gesetz, das gleichermaßen für Äpfel auf der Erde wie für Planeten im All gilt. Man stelle sich vor: Newton sitzt unter einem Baum, ein Apfel fällt ihm auf den Kopf, und plötzlich versteht er das Universum. Übrigens saß er nur in seinem heimischen Garten, weil seine Universität wegen der Pest geschlossen war. Er entdeckte die Gesetze des Universums also de facto im Home-Office.

Im 18. und 19. Jahrhundert wurden die Instrumente immer besser. Neue Planeten wie Uranus und Neptun wurden entdeckt. Man begann, die chemische Zusammensetzung von Sternen zu untersuchen. Und langsam dämmerte den Astronomen, dass unser Sonnensystem nur ein winziger Teil einer riesigen Galaxie ist – der Milchstraße.

Anfang des 20. Jahrhunderts revolutionierte Albert Einstein mit seiner Relativitätstheorie unser Verständnis von Raum und Zeit. Er zeigte, dass Materie und Energie die Raumzeit krümmen – und dass Gravitation nichts anderes ist als die Wirkung dieser Krümmung. Schwarze Löcher, Gravitationswellen, die Expansion des Universums – all diese verrückten Konzepte haben ihren Ursprung in Einsteins Theorien. Teilweise standen diese Ideen so sehr im Widerspruch zur herrschenden Meinung, dass Einstein selbst Probleme hatte, sie zu akzeptieren. Seine Allgemeine Relativitätstheorie deutete auf ein expandierendes Universum hin – Einstein wollte das nicht wahrhaben und baute daher extra die kosmologische Konstante in die Gleichungen ein, damit das Universum statisch bleiben konnte. „Die größte Eselei meines Lebens“ nannte Einstein dies später. Auch Genies sind

eben nicht unfehlbar! Und zu Einsteins Ehrenrettung kann man sagen: Heute brauchen wir diese Konstante wieder – allerdings ironischerweise aus genau dem gegenteiligen Grund, um die beschleunigte Expansion des Universums zu erklären.

Mitte des 20. Jahrhunderts begann dann das Zeitalter der Raumfahrt. Wir schickten Sonden zu anderen Planeten, Menschen zum Mond und riesige Teleskope ins All. Das Hubble-Weltraumteleskop lieferte uns atemberaubende Bilder von weit entfernten Galaxien. Wir entdeckten Tausende von Exoplaneten, also Planeten, die um andere Sterne kreisen. Einige davon könnten sogar lebensfreundlich sein. Die Suche nach außerirdischem Leben ist längst keine Science-Fiction mehr, sondern ein seriöses Forschungsgebiet.

Und die Reise geht weiter. Das James-Webb-Weltraumteleskop, eine Art Nachfolger von Hubble im Infrarotbereich, liefert uns Einblicke in die frühesten Phasen des Universums. Wir planen bemannte Missionen zum Mars und vielleicht werden wir in nicht allzu ferner Zukunft die ersten Spuren von Leben auf einem anderen Planeten finden. Oder zumindest die erste Marskartoffel anpflanzen.

Von den ersten Menschen, die staunend in den Nachthimmel blickten, bis zu hochkomplexen Weltraumteleskopen und interplanetaren Sonden – die Geschichte der Astronomie ist eine Geschichte des menschlichen Forscherdrangs und Erfindungsreichtums. Sie zeigt, wie wir immer wieder unsere Vorstellungen von unserem Platz im Universum revidieren mussten: Von der Erde als Zentrum des Alls über einen Planeten unter vielen bis hin zu einem winzigen Staubkorn in einem unvorstellbar großen Kosmos.

Diese Reise hat uns Demut gelehrt, aber auch inspiriert. Je mehr wir über das Universum lernen, desto faszinierender wird es. Und je weiter wir in die Tiefen des Alls vordringen, desto klarer wird: Wir haben gerade erst angefangen zu verstehen, was da draußen alles auf uns wartet.

Also, liebe Leser, lehnen Sie sich zurück, schnappen Sie sich ein Marshmallow (oder einen Apfel, wenn Sie das nächste universelle Naturgesetz entdecken wollen), und lassen Sie uns gemeinsam in die Zukunft der Weltraumerkundung blicken. Die nächsten Kapitel werden Ihnen zeigen, was für unglaubliche Abenteuer noch auf uns warten. Denn eines ist sicher: Unsere kosmische Reise hat gerade erst begonnen!



STUFE I

IN 50 JAHREN – MOND UND MARS ALS ZWEITE HEIMAT

Wo standen wir vor 50 Jahren?

Im Jahr 1975 hatte die Menschheit gerade ihre ersten großen Schritte im All gemacht, doch die Euphorie der Mondlandungen war bereits verflogen. Die letzte Apollo-Mission, Apollo 17, lag drei Jahre zurück, und der Fokus der Raumfahrt verlagerte sich auf erdnahe Missionen. Die Sowjetunion und die USA lieferten sich zwar noch immer einen Wettlauf im All, aber nun ging es vornehmlich um Langzeitmissionen im Erdorbit. Der Mars wurde erst ein Jahr später von den Viking-Sonden erreicht – aber die Vorstellung von permanenten Basen auf dem Mond oder dem Mars hätte man damals wohl eher in die Kategorie Science-Fiction eingeordnet. Dennoch wurde die Saat für unsere heutige Realität bereits gesät: Das Apollo-Sojus-Testprojekt, die erste



Dieses Gemälde zeigt den Moment, in dem die Raumschiffe Apollo und Sojus aneinander andocken.

amerikanisch-sowjetische Zusammenarbeit in der Raumfahrt, ebnete den Weg für zukünftige Kooperationen im All. Die amerikanische Raumstation Skylab hatte gerade ihre letzte Besatzung verabschiedet und zeigte, dass längere Aufenthalte im Weltraum möglich waren – wenn auch mit dem Komfort eines ungemütlichen Campingtrips in der Schwerelosigkeit.

In der Astronomie revolutionierten Weltraumteleskope wie Copernicus unsere Sicht auf das Universum, während auf der Erde Radioteleskope immer tiefer ins All horchten. Die Entdeckung der ersten Exoplaneten lag noch in ferner Zukunft, aber Wissenschaftler spekulierten bereits über ihre Existenz. Auch die Computertechnologie steckte noch in den Kinderschuhen – der Apple I sollte erst im nächsten

Jahr das Licht der Welt erblicken, vermutlich mit weniger Rechenleistung als eine heutige Kaffeemaschine.

Auf der Erde dominierten der Kalte Krieg und die Ölkrise die geopolitische Landschaft. Dennoch keimte die Idee einer globalen Zusammenarbeit, symbolisiert durch die erste Weltklimakonferenz 1979 in Genf.

Rückblickend erscheint die Raumfahrt von 1975 wie der erste Gehversuch eines Kleinkinds. Doch dieser Gehversuch war der Auftakt zu einem spektakulären Sprint durchs Sonnensystem. In den darauffolgenden Jahrzehnten haben wir gelernt, zu laufen, zu rennen und sogar zu fliegen – bis zum Mars und weit darüber hinaus.

WILLKOMMEN IM JAHR 2075!

Die Menschheit als Spezies, die nur einen Planeten bewohnt? Sowas von Anfang der 2000er! In den letzten fünf Jahrzehnten haben wir einen Quantensprung gemacht – und zwar buchstäblich, denn unsere Quantencomputer haben uns dabei geholfen, den Weltraum zu unserem neuen Vorgarten zu machen.

In vergangenen Zeiten war der Mond für den Durchschnittsmenschen unerreichbar und diente allenfalls als nächtlicher Begleiter für romantische Treffen im Park. Nun, jetzt ist er unser kosmischer Vorort, und die Rendezvous müssen nicht mehr im fahlen Mondlicht stattfinden – sondern sie können es direkt auf seiner Oberfläche! Artemis City, unsere lunare Metropole am Südpol des Mondes, beherbergt über 1000 Vollzeit-Mondbewohner. Hier wird Wassereis aus den permanent beschatteten Kratern abgebaut. Die Minenarbeiter dort haben übrigens den besten Ausblick beim Mittagessen: die hell

leuchtende Erde, aufgehend über dem Kraterrand. Wer braucht schon Meerblick, wenn man Planetenblick haben kann?

Und apropos hell leuchtend: Die Mondbewohner genießen zwar den Vorteil eines fantastischen Panoramas, leiden dafür aber unter einer immensen Strahlungsbelastung. Die meiste Zeit müssen sie daher in den strahlungssicheren Gebäuden von Artemis City verbringen, die direkt aus dem Mondstaub 3D-gedruckt werden. Die meisten Mondmenschen haben daher eine vornehme Blässe entwickelt, die selbst den durchschnittlichen Vampir neidisch machen würde. Und Sonnenbaden auf dem Mond ist leider streng verboten – es sei denn, man möchte als menschliches Popcorn enden.

Aber warum bei einem Himmelskörper aufhören, wenn man zwei haben kann? Der Mars, einst nur ein roter Punkt am Nachthimmel, ist nun unser kosmisches Feriendomizil. Die Olympus Base, benannt nach dem größten bekannten Berg des Sonnensystems (Angeberkram der Marsianer), beherbergt mittlerweile 500 mutige Pioniere. Sie haben gelernt, aus der dünnen CO₂-Atmosphäre Sauerstoff zu gewinnen – eine Fähigkeit, die auf der Erde nur Pflanzen vorbehalten war. Die Marsianer behaupten übrigens, ihr selbstgemachter Sauerstoff schmecke besser als der irdische. Kenner beschreiben ihn als „spritzig mit einer Note von Eisenoxid“.

Der interplanetare Verkehr hat sich zu einer Art kosmischer Seidenstraße entwickelt. Statt Kamelen und Händlern sieht man nun Ionentriebwerke und Astronauten. Das Lunar Gateway, unsere Raum-Raststätte in der Mondumlaufbahn, dient als Knotenpunkt für den Verkehr zwischen Erde und Mond und als Sprungbrett für Marsmissionen. Hier kann man sich einen Kaffee gönnen, bevor man zum nächsten Himmelskörper aufbricht – vorausgesetzt, man hat die Schwerelosigkeits-Baristatechnik gemeistert. Der Cappuccinoschaum schwebt übrigens als perfekte Kugel über Ihrer Tasse. Instagram-Influencer lieben es!

Die Raumschiffe selbst sind wahre Wunderwerke der Technik. Angetrieben von Ionentriebwerken und Nuklearthermik, durchqueren sie das innere Sonnensystem wie einst Segelschiffe die Ozeane der Erde. Nur dass hier die Wellen aus Sonnenwinden bestehen und die Gefahren eher im Weltraumschrott statt in Piratenschiffen zu sehen sind. Die Reisezeit zum Mars konnte von mehreren Monaten auf wenige Wochen reduziert werden. Das „Sind wir bald da?“-Gequengel der Kinder ist aber immer noch genauso nervig wie vor 50 Jahren.

Doch das Leben im All ist nicht nur Zuckerwatte und Sternschnuppen. Die reduzierte Schwerkraft stellt nach wie vor ein medizinisches Problem dar. Astronauten müssen täglich trainieren, um nicht zu kosmischen Marshmallows zu mutieren. Die psychologische Belastung durch die Isolation wird durch virtuelle Realität und KI-Begleiter gemildert. Letztere sind übrigens hervorragende Gesprächspartner, solange man nicht über die Weltherrschaft der Maschinen diskutieren möchte. Sie neigen dazu, das Thema auf mysteriöse Weise zu wechseln ...

Die Nahrungsmittelproduktion im Weltraum hat in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht. Riesige Gewächshäuser auf dem Mars, geschützt vor der tödlichen Strahlung, produzieren einen Großteil der Nahrung für die Kolonisten. Die „Marskartoffel“ ist mittlerweile eine Delikatesse auf der Erde – auch wenn böse Zungen behaupten, sie schmecke einfach nur staubig. Auf dem Mond hat man derweil die Kunst der Hydroponik perfektioniert. „Mondsprossen“ sind der letzte Schrei in der gehobenen Küche. Sie sollen angeblich bei Vollmond am besten schmecken.

Die Forschung auf unseren kosmischen Außenposten schreitet rapide voran. Autonome Rover und Drohnen kartieren die Marsoberfläche und suchen nach Ressourcen und möglichen Spuren von Leben. In den letzten Jahren wurden vielversprechende Biosignaturen in Gesteinsproben gefunden, die möglicherweise auf einfaches mikro-

bielles Leben in der Frühzeit des Mars hindeuten. Und auch der Weltraumtourismus hat sich etabliert. Für schlappe zehn Millionen Dollar können Sie nun Selfies vom Mond machen. Die „Ich war hier“-Graffitis auf der Mondrückseite sind allerdings streng verboten. Die ersten Marsurlauber sind bereits zurückgekehrt, mit roten Staubkörnern in den Taschen und Geschichten, die kein Mensch glaubt – bis sie ihre Virtual-Reality-Aufnahmen zeigen. Der Mars-Marathon ist dabei zur beliebtesten Extremsportveranstaltung des Sonnensystems geworden. Bei einem Drittel der Erdgravitation können selbst wenig geübte Teilnehmer die Hänge des Olympus Mons hochjoggen.

Die geopolitische Landschaft hat sich ebenfalls verändert. Die „United Space Initiative“ koordiniert die globalen Bemühungen zur Besiedlung des Sonnensystems. Sie ist wie die UN, nur dass die Delegierten in Raumanzügen erscheinen und über Marsgrundstücke statt Ölfelder debattieren. Der „Outer Space Treaty“ von 1967 wurde mehrfach überarbeitet, um den neuen Realitäten Rechnung zu tragen. Die Debatte darüber, ob der Mars ein US-Bundesstaat oder ein souveräner Planet werden soll, tobt immer noch.

Ethische Fragen beschäftigen uns mehr denn je. Haben wir das Recht, andere Planeten zu besiedeln und zu verändern? Was, wenn wir auf dem Mars auf mikrobielles Leben stoßen? Die Entdeckung potenzieller Biosignaturen auf dem Mars hat diese Debatte noch verstärkt. Manche argumentieren, wir sollten den Planeten in Ruhe lassen, andere sehen darin die Chance, eine zweite Erde zu erschaffen. Die Marsianer selbst sind der Meinung, man solle sie einfach fragen – schließlich seien sie jetzt die Einheimischen.

Die Auswirkungen der Weltraumkolonisierung auf die Erde sind tiefgreifend. Technologien, die für das Überleben im All entwickelt wurden, finden nun Anwendung bei der Bewältigung globaler Herausforderungen wie Klimawandel und Ressourcenknappheit. Die ultrakompakten Wasseraufbereitungsanlagen der Raumstationen

revolutionieren die Trinkwasserversorgung in Dürregebieten. Und die für den Mars entwickelten CO₂-Konverter helfen, die Erdatmosphäre zu reinigen. Ironischerweise könnte die Rettung unseres Heimatplaneten aus dem Weltall kommen.

Die Perspektive, die wir durch die Besiedlung anderer Welten gewonnen haben, hat unser Verständnis für die Zerbrechlichkeit und Einzigartigkeit der Erde geschärft. Der „Overview-Effekt“, einst nur Astronauten vorbehalten, ist nun für eine viel größere Zahl von Menschen erlebbar. Nie zuvor war das Bewusstsein für die Einzigartigkeit unserer Erde so ausgeprägt wie heute.

Trotz aller Fortschritte stehen wir erst am Anfang unserer Reise zur multiplanetaren Spezies. Die nächsten Jahrzehnte werden entscheidend sein für die langfristige Nachhaltigkeit unserer außerirdischen Kolonien. Werden wir es schaffen, auf dem Mars eine sich selbst erhaltende Biosphäre zu erschaffen? Oder werden wir in hundert Jahren feststellen, dass der Traum von Mars der teuerste Fehlschlag der Menschheitsgeschichte war? Werden wir die technologischen Herausforderungen meistern, um noch weiter ins Sonnensystem vorzudringen? Die Eismonde des Jupiters winken schon verlockend am Horizont ...

In diesem Kapitel werfen wir einen detaillierten Blick auf unsere kosmischen Vororte. Wir erkunden die lunaren Basen, wo Mondbewohner lernen, mit einem Sechstel der Erdgravitation Tee zu trinken, ohne die Decke zu bekleckern. Wir besuchen den Mars, wo Terraforming-Experten versuchen, eine rostige Wüste in eine blühende Landschaft zu verwandeln. Und wir untersuchen die interplanetaren Transportwege, auf denen Raumschiffe wie kosmische Greyhound-Busse zwischen den Planeten pendeln.

Willkommen in der Zukunft – willkommen im Jahr 2075, wo das Universum unser Spielplatz ist und wir gerade erst anfangen, die Regeln zu lernen!

UNTERSTUFE A

LUNARE BASEN UND IHRE HERAUSFORDERUNGEN

Im Jahr 2075 ist unser treuer Himmelsgefährte nicht mehr nur eine käsige Scheibe am Nachthimmel, sondern eine zweite Adresse für über tausend mutige Pioniere. Und nein, sie leben nicht in Iglus aus Mondkäse, sondern in hochmodernen Habitaten, die selbst die anspruchsvollsten Immobilienmakler beeindrucken würden.

Artemis City, unser lunarer Hotspot, thront majestätisch am Südpol des Mondes. Die Standortwahl war kein kosmisches Glücksspiel, sondern wohlüberlegt: Hier gibt es Wassereis in den Kratern (perfekt für einen erfrischenden Mondcocktail) und nahezu ununterbrochenes Sonnenlicht auf den Gipfeln (ideal für einen perfekten Mondteint – Sonnencreme nicht vergessen!).

Die Architektur von Artemis City würde selbst den legendären Baumeister Imhotep vor Neid erblassen lassen. Die meisten Habitate sind unterirdisch und bieten so perfekten Schutz vor kosmischer Strahlung und Mikrometeoriten. Zwischen den Behausungen der Mondkolonisten und der Oberfläche liegt eine dicke Schicht Regolith – feiner, lockerer Mondstaub, der hauptsächlich aus winzigen Gesteinsfragmenten und Mineralien besteht, die über Milliarden Jahre durch Meteoriteneinschläge entstanden sind, und mehr Verwendungen hat als das sprichwörtliche Schweizer Taschenmesser.

Das Herzstück der Basis ist die zentrale Kuppel, in der ein üppiger Garten gedeiht, der nicht nur Nahrung produziert, sondern auch als grüne Oase dient. Nichts entspannt mehr nach einem harten, lunaren Arbeitstag als der Blick aus den großen Fenstern der Kuppel hin zur guten alten Erde, die am Horizont schwebt wie ein kosmischer Volleyball. Doch wie können in einer so lebensfeindlichen Umgebung Menschen und Pflanzen überleben? Das liegt an den unglaublich effizienten Lebenserhaltungssystemen von Artemis City, die selbst



So stellt sich die ESA eine Mondbasis vor: Solarzellen sorgen für Strom, im Gewächshaus wird Nahrung angebaut.

die strengsten Ökos auf der Erde vor Neid erblassen lassen würden: 99 Prozent aller Abfälle werden recycelt – auf dem Mond gilt wirklich: Aus Alt mach Neu! Die Atmosphäre wird ständig erneuert, wobei ein Großteil des Sauerstoffs durch die Elektrolyse von Mondwasser gewonnen wird. Dabei wird das gefrorene Wasser aus den Mondkratern in seine Bestandteile, Sauerstoff und Wasserstoff, zerlegt. Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung spaltet sich das Wasser (H_2O) auf, und der Sauerstoff wird für die Atmung genutzt, während der Wasserstoff als Treibstoff für zukünftige Missionen dient. Das braucht natürlich Strom! Und diese Energie, ohne die selbst der motivierteste Mondbewohner ziemlich blass aussehen würde (noch blasser als ohnehin schon), wird unter anderem durch Solaranlagen erzeugt. Diese erstrecken sich wie ein gigantisches kosmisches Schachbrett um die Basis. Doch obwohl sich auch im Jahr 2075 alle einig sind,

dass Solarenergie eine tolle Technologie ist, braucht die Mondbasis noch mehr Power. Denn Mondnächte dauern etwa 14 Erdentage, da der Mond synchron zur Erde rotiert und ihr deswegen immer dieselbe Seite zeigt. Das bezeichnet man als gebundene Rotation. Während dieser langen Nacht sind die Solaranlagen von Artemis City arbeitslos. Um diese Dunkelheit zu überbrücken, setzt die Mondbasis zusätzlich auf Mininuklearreaktoren. Diese kleinen, effizienten Kraftwerke liefern kontinuierlich Strom und sichern so die Versorgung der Basis – selbst während der längsten Mondnacht.

Die Nahrungsmittelversorgung bleibt eine der größten Herausforderungen. Zwar produziert die Mondkolonie einen beträchtlichen Teil in hydroponischen Gärten und Laborfleischzuchten, aber Artemis City ist noch nicht ganz autark. Regelmäßige Versorgungsflüge von der Erde bringen die Leckereien, die die Mondbewohner schmerzlich vermissen. Denn mal ehrlich: Pizza aus dem Vakuumofen mit Analogkäse ist einfach nicht dasselbe wie das Original aus Italien mit echtem Mozzarella.

Der Bergbau hat sich zu einem Eckpfeiler der lunaren Wirtschaft entwickelt. Neben Wassereis werden auf unserem Trabanten auch seltene Erden und Helium-3 abgebaut. Letzteres gilt als Wunderstoff für Fusionsreaktoren und wird fleißig zur Erde exportiert. Helium-3 ermöglicht in den fortschrittlichen Fusionskraftwerken des Jahres 2075 nahezu unerschöpfliche, saubere Energie, da bei der Fusion von Helium-3 keine radioaktiven Abfälle entstehen – ein entscheidender Schritt, der die irdische Energiewirtschaft revolutioniert und fossile Brennstoffe endgültig überflüssig gemacht hat. Der Mond als Katalysator für die irdische Energierevolution – wer hätte das gedacht?

Die reduzierte Schwerkraft des Mondes, etwa ein Sechstel der irdischen, beeinflusst jeden Aspekt des täglichen Lebens. Spezielle Trainingsregime sind notwendig, um fit zu bleiben. Das „Lunar Gym“ ist der heißeste Treffpunkt in Artemis City – hier schwitzen die Ko-

lonisten täglich in künstlich erhöhter Schwerkraft. Den „Leg Day“ auszulassen, kann sich hier niemand erlauben. Bereits bei früheren Weltraummissionen, wie auf der ISS, hat man herausgefunden, dass die Schwerelosigkeit Muskel- und Knochenschwund verursacht. Diese Erkenntnisse halfen, die perfekten Trainingsprogramme zu entwickeln, die den Mondbewohnern jetzt zugutekommen, um langfristig gesund und fit zu bleiben. Überhaupt wird das Andenken an vergangene Weltraummissionen in Artemis City hochgehalten, immerhin ist die Stadt nach dem wegweisenden Artemis-Programm der NASA benannt, das die Menschheit überhaupt erst zurück zum Mond brachte.

Das Artemis-Programm – unser Weg zurück zum Mond

Das Artemis-Programm der NASA ist die konsequente Weiterführung des „großen Sprungs für die Menschheit“, von dem bereits Neil Armstrong sprach. Diesmal geht es aber nicht nur um einen kurzen Besuch, sondern auch darum, auf dem Mond sesshaft zu werden. In Zusammenarbeit mit internationalen Partnern wie der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) verfolgt die NASA das ehrgeizige Ziel, Menschen wieder auf den Mond zu schicken – darunter auch die erste Frau. Der Startschuss für Artemis fiel 2019, und am 16. November 2022 feierte das Programm seinen ersten großen Erfolg: Artemis-1 hob ab! In einer unbemannten Mission wurde das Orion-Raumschiff um den Mond und zurück zur Erde geschickt. Der Flug verlief größtenteils nach Plan – auch wenn der Hitzeschild nach der Landung ein paar Macken hatte, die noch untersucht werden. Orion soll in Zukunft die Astronauten sicher hin und zurück brin-



Bei der Mission Artemis III sollen die Astronauten gut eine Woche am Südpol des Mondes forschen und Proben zurück zur Erde bringen.

gen. Das Herzstück des Programms ist das Space Launch System (SLS) – eine der leistungstärksten Raketen, die jemals gebaut wurde. Sie katapultiert nicht nur Menschen ins All, sondern auch tonnenweise Ausrüstung für den Aufbau einer Basis auf unserem Trabanten.

Artemis plant auch die Einrichtung einer Raumstation im Mondorbit, des Lunar Gateways, das als „Boxenstopp“ für die Astronauten auf dem Weg zum und vom Mond dienen soll. Ein spannender Teil des Programms ist der Bau von Mondbasen. Hier kommt Regolith ins Spiel, der vor Ort zu Baumaterialien verarbeitet werden soll – die ersten extraterrestrischen 3D-Druck-Projekte! Besonders am lunaren Südpol werden riesige Wassereisvorkommen vermutet, die den Aufbau einer dauerhaften Basis ermöglichen könnten. Langfristig soll Artemis nicht nur als Mondmission dienen, sondern auch als Testlauf für künftige Marsmissionen. Die erste

bemannte Mondlandung von Artemis-3 ist derzeit für 2026 geplant, mit einer Crew, die Geschichte schreiben wird und deren Fußstapfen im Mondstaub der Anfang der menschlichen Besiedelung des Mondes sein könnten.

Die psychische Gesundheit der Mondbewohner ist ebenso wichtig wie die physische. Virtual-Reality-Systeme bieten realistische Erdlandschaften – perfekt für alle, die Heimweh nach Staus und Regenwetter haben. KI-gestützte Therapieprogramme helfen bei der Bewältigung des Alltags. Und wenn alles nicht hilft, gibt's immer noch die atemberaubende Aussicht auf die Erde. Nichts relativiert die eigenen Probleme so sehr wie der Anblick des Heimatplaneten am Firmament. Dieser sogenannte Overview-Effekt, das überwältigende Gefühl der Verbundenheit und Zerbrechlichkeit der Erde, das Astronauten schon seit den ersten Weltraummissionen berichten, wird auch für die Mondbewohner zum täglichen Begleiter und schenkt ihnen eine ganz neue Perspektive auf das Leben im All und auf der Erde.

Die Kommunikation zwischen Mond und Erde ist mittlerweile so gut, dass man fast vergisst, auf einem anderen Himmelskörper zu sein. Hochleistungs-Laserkommunikationssysteme ermöglichen fast verzögerungsfreie Übertragungen. Die „Moon Cam“, die rund um die Uhr Livebilder zur Erde sendet, ist zu einem globalen Phänomen geworden. Wer braucht schon „Big Brother“, wenn man echten Mondbewohnern beim Leben zusehen kann?

Die wissenschaftliche Forschung blüht in der einzigartigen Umgebung des Mondes. Das Radioteleskop auf der erdabgewandten Seite lauscht den Geheimnissen des Universums, ungestört von irdischem Gebrabbel. Geologen studieren Mondgestein und fühlen sich dabei wie Kinder im Sandkasten. Und Biologen erforschen die Grenzen des Lebens in dieser extremen Umgebung – bisher ohne Erfolg

bei der Suche nach Mondkäse produzierenden Bakterien. Dabei gab es durchaus Hoffnungen, in den abgeschirmten Mondhöhlen Mikroorganismen zu entdecken, da diese natürlichen Schutzzräume vor kosmischer Strahlung und extremen Temperaturschwankungen theoretisch günstige Bedingungen für die Existenz primitiven außerirdischen Lebens bieten könnten. Doch trotz intensiver Suche ist im Jahre 2075 die einzige Lebensform auf dem Mond der Homo Sapiens.

Der Weltraumtourismus boomt. In der luxuriösen „Tranquility Lodge“ können Superreiche nun Kurzurlaub machen. Der Slogan „Ein kleiner Schritt für Ihren Geldbeutel, ein großer Sprung für Ihr Ego“ hat sich als äußerst erfolgreich erwiesen. Ein Besuch der Apollo-11-Landestelle ist dabei das ultimative Statussymbol – schließlich steht man dort, wo Neil Armstrong 1969 als erster Mensch den Mond betrat. Ein Meilenstein der Menschheitsgeschichte, den nur eine Handvoll Auserwählte aus nächster Nähe bewundern können!

Die Sicherheit bleibt ein Dauerthema. Jeder Kolonist ist mit einem hochentwickelten Raumanzug ausgestattet, der nicht nur schützt, sondern auch als mobiles Lebenserhaltungssystem dient. Redundante Systeme und strenge Sicherheitsprotokolle minimieren die Risiken, aber das Leben auf dem Mond bleibt eine Herausforderung. Schließlich ist der nächste Baumarkt für Ersatzteile etwa 384.400 Kilometer entfernt.

Trotz dieser Widrigkeiten floriert die Mondindustrie. Die einzigartigen Bedingungen ermöglichen die Herstellung von Produkten, die auf der Erde unmöglich wären. Hochreine Halbleiter, neuartige Legierungen und perfekte Kristalle werden zur Erde exportiert. Die geringe Schwerkraft und das nahezu perfekte Vakuum des Mondes schaffen ideale Bedingungen für die Herstellung von hochreinen Materialien, da Verunreinigungen durch schwerkraftbedingte Prozesse oder atmosphärische Einflüsse praktisch ausgeschlossen sind. „Made on the Moon“ ist zum Gütesiegel für höchste Qualität geworden!

Das Transportwesen zwischen Mond und Erde ist mittlerweile so routiniert wie der Pendelverkehr zwischen Potsdam und Berlin – nur mit etwas weniger Stau. Das Lunar Gateway in der Mondumlaufbahn dient als kosmischer Umsteigebahnhof. Und keine Sorge: Auch hier bleiben manche Dinge wie auf der Erde und Ihr Gepäck erreicht garantiert einen anderen Himmelskörper als Sie.

Rechtlich und politisch hat sich einiges getan. Der überarbeitete Weltraumvertrag von 2049 regelt klar die Nutzung von Mondressourcen. Die „Lunar Governance Authority“ überwacht die Einhaltung dieser Regeln – quasi die Mondpolizei der Vereinten Nationen. Zuvor war das Weltraumrecht, basierend auf dem Weltraumvertrag von 1967, eher vage und verbot grundsätzlich nationale Ansprüche auf Himmelskörper, ohne jedoch klare Richtlinien zur Ressourcennutzung festzulegen, was immer wieder zu Unsicherheiten und Streitereien zwischen den Raumfahrtationen führte.

Trotz aller Fortschritte stehen noch große Herausforderungen bevor. Ein zentrales Problem ist, dass die langfristigen Auswirkungen des Lebens in geringer Schwerkraft auf den menschlichen Körper, insbesondere auf die Fortpflanzung und die Entwicklung von Heranwachsenden, noch nicht vollständig verstanden sind. Es gibt berechnete Sorgen, dass das Mondleben dauerhafte Veränderungen im menschlichen Körper auslösen könnte. Gleichzeitig entsteht eine völlig neue politische Dimension: Die ersten auf dem Mond geborenen Kinder entwickeln eine eigene Identität, geprägt von ihrer einzigartigen Umgebung. Diese „Mondbürger“ stellen neue Fragen in Bezug auf Staatsbürgerschaft, Rechte und Zugehörigkeit, was bereits heute hitzige Debatten zwischen den Nationen auslöst, die an der Mondbesiedlung beteiligt sind.

Die Zukunftsvision ist klar: Der Mond soll eine blühende, selbst-erhaltende Zivilisation werden. Pläne für weitere Städte sind in Arbeit. Forscher tüfteln an Methoden, um die lebensfeindliche Umgebung

zu transformieren. Eine künstliche Atmosphäre? Genetisch modifizierte Pflanzen auf der Oberfläche? Klingt verrückt, aber hey – vor 50 Jahren klang „Lass uns auf dem Mond wohnen“ auch nicht gerade alltäglich.

Im Jahr 2075 ist die Mondkolonisierung mehr als ein technologisches Abenteuer. Sie ist ein Testfeld für menschliche Anpassungsfähigkeit, ein Sprungbrett ins Sonnensystem und ein Beweis dafür, was wir als Spezies erreichen können, wenn wir zusammenarbeiten. Die Herausforderungen sind gewaltig, aber der Blick auf die blaue Murmel Erde erinnert uns stets daran, warum wir hier sind – und dass wir verdammt aufpassen sollten, es nicht zu vermasseln. Denn mal ehrlich: Eine dauerhafte Rückfahrkarte zur Erde zu lösen, wäre echt peinlich.

UNTERSTUFE B

LEBEN AUF DEM ROTEN PLANETEN

„Guten Morgen, Marsianer! Es ist 6:30 Uhr Marszeit. Die Außentemperatur beträgt minus 55 Grad Celsius. Ein perfekter Tag für einen Spaziergang – in Ihrem druckdichten Anzug, versteht sich.“

Die Stimme des KI-Assistenten ARES (Automated Residential Enhancement System) hallt durch die Wohnmodule der Olympus Base, der größten und einzigen Marssiedlung im Jahr 2075. Benannt nach dem größten Berg des Sonnensystems – dem Olympus Mons –, ist diese bescheidene Ansiedlung ein Triumph menschlicher Beharrlichkeit und Erfindungsgabe.

Dr. Leia Kynes, leitende Astrobiologin der Kolonie, streckt sich in ihrem Schlafkokon und murmelt: „ARES, Kaffee. Stark. Mit einem Schuss synthetischer Milch.“ Wenige Sekunden später summt der Nahrungssynthesizer in ihrer Kabine und produziert eine dampfende Tasse des lebenswichtigen Gebräus.



Die Marsbasis Olympus Base ist Ende des 21. Jahrhunderts der Außenposten der menschlichen Zivilisation.

„Noch fünf Minuten“, denkt Dr. Kynes, während sie den ersten Schluck nimmt. Sie betrachtet die Lichtsimulation an ihrer Zimmerwand, die einen Sonnenaufgang über der Marsoberfläche zeigt. In Wirklichkeit befindet sich ihre Kabine tief unter der Oberfläche, in einer der weitläufigen Lavaröhren, in die die Olympus Base hinein-gebaut wurde.

Die Entdeckung und Nutzung dieser natürlichen Hohlräume war ein Wendepunkt in der Marskolonisation. „Es war, als hätte der Planet selbst uns Wohnungen vorbereitet“, erklärt Dr. Kynes später einer Gruppe von Neuankömmlingen bei ihrer obligatorischen Einführungstour. „Diese Höhlen schützen uns vor kosmischer Strahlung, Temperaturschwankungen und Mikrometeoriten. Sie sind unsere natürlichen Bunker.“

Wissenschaftler vermuten, dass viele dieser Höhlensysteme durch vulkanische Aktivität entstanden sind. Die ersten dieser Marshöhlen wurden mithilfe von Orbitern wie dem Mars Reconnaissance Orbiter entdeckt, der bereits im Jahre 2006 den Mars erreichte und mithilfe von speziellen Kamerasystemen Höhleneingänge und potenzielle

unterirdische Strukturen kartiert hat. Die Olympus Base erstreckt sich über ein Netzwerk miteinander verbundener Lavaröhren. Wohnbereiche, Labore, Hydrokulturen und sogar ein kleines Krankenhaus – alles unterirdisch und sicher vor den Gefahren der Marsoberfläche.

Die Oberfläche. Ein Wort, das bei den Marsianern gleichermaßen Ehrfurcht und Vorsicht hervorruft. Jeder Ausflug dorthin erfordert sorgfältige Planung und hochentwickelte Schutzanzüge. „Unsere Anzüge sind wie tragbare Raumschiffe“, erklärt Chefingenieur Wedge Halleck den Neuankömmlingen. „Sie regulieren Temperatur und Druck, filtern die Luft und schirmen Sie von der Strahlung ab. Ach ja, und sie haben ein eingebautes Toilettensystem. Glauben Sie mir, das werden Sie zu schätzen wissen!“

Das Leben auf dem Mars stellt weit größere Herausforderungen dar als das auf dem Mond. Die Olympus Base, die erst Jahre nach Artemis City gegründet wurde, ist bis heute deutlich kleiner und bietet nur wenigen Kolonisten Platz. Während die Mondbasis relativ nah an der Erde liegt und regelmäßig mit Nachschub versorgt werden kann, sind die Marsianer weitaus isolierter – Lieferungen von der Erde dauern Monate. Die Schwerkraft beträgt ein Drittel der irdischen Gravitation und ist damit etwas höher als auf dem Mond, doch es ist vor allem die harsche Umgebung, die den Kolonisten das Leben schwer macht.

Die Marsatmosphäre ist extrem dünn und besteht fast ausschließlich aus CO₂, was den Aufbau einer dichten Infrastruktur zum Schutz der Kolonisten erfordert. Auch wenn der Mars im Vergleich zum Mond größere Wasservorkommen in Form von Eis bietet, erfordert die Wassergewinnung auf dem Mars erheblich mehr Aufwand. Im Gegensatz zum Mond, wo die Wasservorkommen hauptsächlich in tiefen Kratern liegen, gibt es auf dem Mars unter der Oberfläche und in den Polkappen reichhaltige Eisflächen. Diese Vorkommen werden durch spezialisierte Bohrtechniken und energieintensive Schmelzprozesse zugänglich gemacht.

Von der Erde — zu den Sternen!

Die Zukunft der Menschheit liegt im All – doch wann geht's endlich los? Astro-Tim nimmt uns mit auf ein Abenteuer voller kosmischer Meilensteine: von der Eroberung des Mars über den ersten Flug zum Nachbarstern bis zur Erkundung der Galaxis.

Für uns Menschen aus den 2020ern klingt das vielleicht fantastisch – doch schon bald werden wir mit neuester Raumfahrttechnik den Weltraum erforschen. Astro-Tim begleitet uns auf einem rasanten Flug zu den Sternstunden kommender Generationen: unterhaltsam, aufregend – und mit vielen astronomischen Aha-Erlebnissen!

Mit seinen Videos holt Astro-Tim die Weiten des Weltraums auf die Erde: Bei Instagram, TikTok und YouTube begeistert er mit den verblüffendsten Fakten aus der Welt der Wissenschaft.