



Das Labor im All

Medizinische Experimente gehören bei Weltraummissionen zur Tagesordnung. Sie lohnen sich in vielerlei Hinsicht.

von FRANK FRICK

Der Weltraum-Veteran Dafydd Rhys („Dave“) Williams beklagte im Herbst 2021: „Die Menschen spüren den Nutzen des Raumfahrtprogramms im Alltag oft nicht. Doch gleichzeitig ist die Technologie aus dem Welt- raum allgegenwärtig.“ Er war mit dem Space Shuttle zweimal im All, zuletzt 2007. In der Fachzeitschrift *Nature Medicine* beschrieb Williams kürzlich zusammen mit sechs weiteren Autoren weltraumbasierte Technologien, die zur Pandemiebewältigung beigetragen haben oder beitragen könnten. Das Team weist unter anderem darauf hin, dass Satellitenbilder und Geoinformationssysteme Entwicklungsländern geholfen haben, Pandemiepläne aufzustellen und die Verteilung von Impfstoffen zu organisieren. Weiterhin betont es, wie wichtig die Telemedizin während der Covid-19-Pandemie geworden ist, um ohne persönlichen Kontakt durch Video- und Datenübertragung Patienten gesundheitlich zu versorgen. „Der Raumfahrtsektor

hat bei der Telemedizin eine Vorreiterrolle.“ Dort ist sie wichtig zur Versorgung und ständigen medizinischen Überwachung der Astronauten.

Die Raumfahrtagenturen aus den USA, Kanada, Europa, Japan, Russland und Italien nennen in der Broschüre „ISS – Nutzen für die Menschheit 2022“ weitere Beispiele, bei denen Medizintechnik und Telemedizin für die Raumfahrt weiterentwickelt wurden. So kommt weltweit ein Gerät bei Laser-Augenoperationen zum Einsatz, dessen Grundlage Experimente auf der Internationalen Raumstation (ISS) geliefert haben. Dort

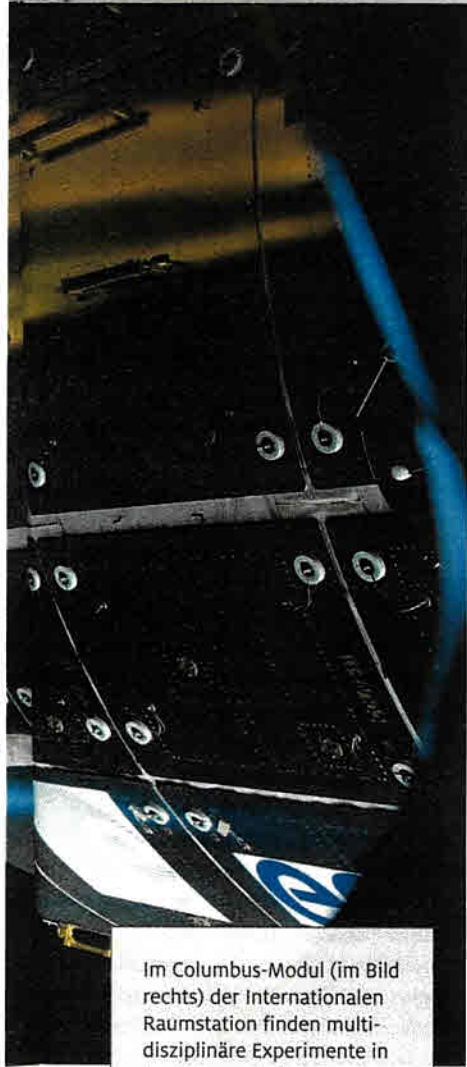
KOMPAKT

- Experimente im All dienen der Vorbereitung von Missionen zu Mond und Mars. Gleichzeitig forschen die Astronauten auch für den medizinischen Fortschritt auf der Erde.
- Die Kristallzucht ist der Klassiker unter den Weltraumexperimenten. Sie ist unter anderem für die Entwicklung neuer Therapien und Medikamente nützlich.

erforschte die europäische Raumfahrtagentur ESA zwischen 2004 und 2008, wie sich Orientierungs- und Gleichgewichtssinn der Astronauten in der Schwerelosigkeit verändern. Daraus entstand ein Eye-Tracking-System, das es ermöglicht, während einer Operation die Position des Patientenauges zu verfolgen, ohne die Arbeit des Arztes zu stören.

Ultraschall-Aufnahmen ohne Arzt

Zwischen 2003 und 2005 wurden Astronauten auf der ISS im Rahmen der ADUM-Studie (abgekürzt für „Advanced Diagnostic Ultrasound in Microgravity“) mithilfe einer Software darin geschult, Ultraschallbilder von der restlichen Besatzung aufzunehmen. Auf Basis dieser Bilder, die zur Erde gesendet wurden, konnten Ärzte Behandlungsmöglichkeiten empfehlen. Scott Dulchavsky vom Henry-Ford-Krankenhaus in Detroit, der leitende Wissenschaftler der Studie, hat die Schulungsmethode später auf die Erde übertragen – für die Gesundheits-



Im Columbus-Modul (im Bild rechts) der Internationalen Raumstation finden multi-disziplinäre Experimente in der Schwerelosigkeit statt.

versorgung von Menschen in abgelegenen Gebieten. Dabei arbeitete er mit dem World Interactive Network Focused On Critical UltraSound (WINFOCUS) zusammen. „WINFOCUS hat mithilfe der ADUM-Methode mehr als 45.000 Ärzte und ärztliche Hilfskräfte in über 60 Ländern geschult“, so die Raumfahrt-agenturen.

Wahrscheinlich wären diese medizintechnischen Fortschritte früher oder später auch ohne Raumfahrt erzielt worden. Doch die Studien mit Astronauten hatten eine wichtige Pionier-Funktion, ist Dieter Blottner vom Zentrum für Weltraummedizin und Extreme Umwelten Berlin überzeugt: „Erstens handelt es sich um methodisch hervorragende Studien, die unter äußerst kontrollierten Bedingungen stattgefunden und wichtige Referenzdaten geliefert haben. Zweitens finanzierten die Raumfahrtagenturen manche Studien, für die es von anderen Organisationen oder von Unternehmen kein Geld gegeben hätte.“ Gerechtfertigt sei das durch den doppelten Nutzen der Studien: einerseits für künftige Langzeitmissionen etwa zum Mars und andererseits für das Gesundheitssystem.

Blottner ist wissenschaftlicher Leiter eines aktuellen Projekts, das diese doppelte Brauchbarkeit exemplarisch demonstriert. So hat der französische Astronaut Thomas Pesquet 2021 auf der ISS ein Gerät namens MyotonPRO erprobt, das von einer estnischen Firma entwickelt und von den Projektpartnern auf die Verwendung im Weltraum angepasst wurde. Ein Messfühler, der auf die Haut gesetzt wird, bestimmt Steifigkeit und Ruhespannung der Muskulatur darunter. „Für Astronauten ist es wichtig, diese Parameter zu kennen, um Informationen über ihre Muskelgesundheit und ihre körperliche Fitness zu erhalten“, erläutert Blottner. „Denn anders als auf der Erde stehen keine Ärztinnen oder Ärzte zur Verfügung, die diese Informationen bei der klini-

schen Untersuchung durch Abtasten gewinnen.“

Die Medizin auf der Erde soll künftig ebenfalls von dem smartphonegroßen Gerät profitieren. Es könnte helfen, den Gesundheitsstatus von Patienten etwa mit Bewegungsstörungen oder Muskelverletzungen objektiv zu erfassen. Auch der Therapieverlauf ließe sich damit kontrollieren. Eine abschließende wissenschaftliche Bewertung der Myoton-Messungen im Weltraum steht aber noch aus.

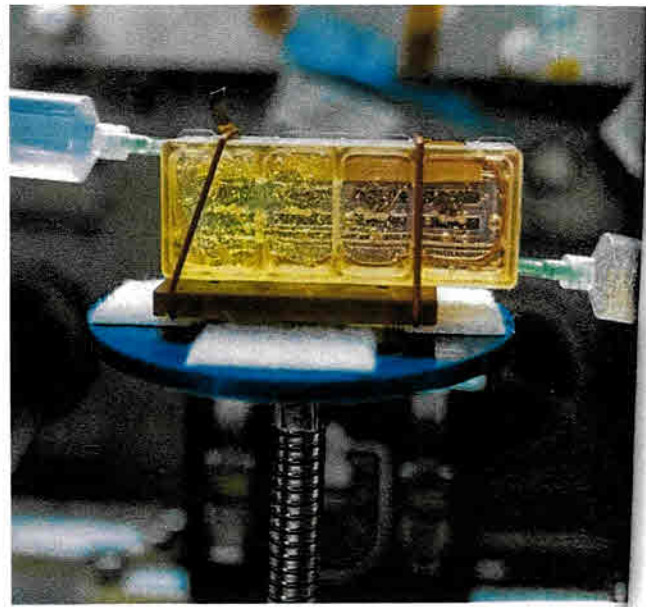
T-Shirt überwacht Herzgesundheit

Der deutsche Astronaut Matthias Maurer und die italienische Astronautin Samantha Cristoforetti, die ihm auf der ISS folgte und Mitte Oktober 2022 zurückkehrte, waren die Protagonisten einer weiteren Versuchsreihe mit möglicherweise doppelter Ausbeute. Sie trugen das Shirt eines deutschen Konsortiums, in das sehr sensible Bewegungssensoren eingebaut sind. Entwickelt von der Technischen Universität Hamburg, messen diese Sensoren charakteristische Schwingungen an der Körperoberfläche, die durch die Kraft des schlagenden Herzens und den Rückstoß des Blutflusses in die Gefäße hervorgerufen werden. Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses (Ende November) begann gerade die Auswertung der Daten. „Doch es lässt sich bereits sagen, dass der Herzschlag und die Herzfrequenz mit dieser sogenannten Ballistokardiografie sehr gut



Die italienische Astronautin Samantha Cristoforetti trägt ein smartes T-Shirt. Die Sensoren darin messen ihre Herzdaten.





ESA-Astronaut Alexander Gerst überträgt eine Proteinlösung in eine Proteinkristall-Wachstumskarte (oben links, darunter eine Kartenprobe unter dem Mikroskop). Im All wachsen Proteinkristalle makelloser als auf der Erde. Die Experimente helfen zu verstehen, welche Rolle diese Eiweißstrukturen bei verschiedenen Krankheiten spielen. Oben rechts: In der Schwerelosigkeit verbesserte Gewebenchips bieten die Chance, neue Medikamente zu testen.

zu bestimmen sind“, sagt Urs-Vito Albrecht, einer der Projektbeteiligten.

Als Leiter der Arbeitsgruppe „Digitale Medizin“ der Universität Bielefeld sieht Albrecht in der smarten Sensorik einen potenziellen Baustein für die künftige Gesundheitsüberwachung der Astronauten, vor allem wenn es um die Einrichtung der vorgesehenen Station auf dem Mond geht. Der Experte sagt: „Zugleich könnte die Ballistokardiografie einen Mehrwert als Methode für eine kontinuierliche und unaufdringliche Herz-Kreislauf-Überwachung auf der Erde bieten.“

Während bei dieser Art von Forschung die Raumfahrt als eine Art Schrittmacher dient, beruht eine andere Kategorie von Experimenten auf den einzigartigen Bedingungen, die in einem Weltraumlabor herrschen: Schwerelosigkeit und kosmische Strahlung.

Perfekte Proteinkristalle

Ein Beispiel: Unter Schwerelosigkeit wachsen Kristalle aus Proteinen makelloser als auf der Erde. Dadurch kann die Struktur dieser biologisch bedeutenden Stoffklasse mithilfe von gestreuter Rönt-

genstrahlung sehr exakt bestimmt werden. Pharmafirmen und akademische Forscher haben daher in rund 20 Jahren auf der ISS mehr als 500 Kristallzucht-Experimente durchgeführt.

Dabei gewannen sie viele Erkenntnisse, unter anderem zu einem potenziellen Brustkrebs-Medikament. Dessen Wirkstoff könnte als cyclisches Peptid eine längere Verweildauer im Körper besitzen als herkömmliche Medikamente. Angriffspunkt des Wirkstoff-Kandidaten ist der humane epidermale Wachstumsfaktor-Rezeptor Typ 2 (HER2). Rund 20 Prozent aller Frauen mit Brustkrebs bilden einen Überschuss an diesem Protein, das das Wachstum von Krebszellen fördert. Bei einem Experiment der japanischen Raumfahrtbehörde und des japanischen Unternehmens PeptiDream gelang es, den neuartigen Wirkstoff-Kandidaten zusammen mit HER2 in einem Komplex zu kristallisieren. Die Röntgenstrukturanalyse zeigte, wo und wie genau der Wirkstoff-Kandidat an den Rezeptor HER2 bindet – eine wichtige Information, um andere, noch geeignetere Substanzen zu finden.

Ein anderes Beispiel ist Pembrolizumab, ein Wirkstoff, der für die Behand-

lung von Schwarzem Hautkrebs, Lungenkrebs und Lymphknotenkrebs unter bestimmten Voraussetzungen zugelassen ist. Bislang kann er den Patienten nur durch intravenöse Infusion zugeführt werden. Doch bei Experimenten auf der ISS wurden Flüssigkeiten hergestellt, in denen sich Pembrolizumab-Kristalle mit festgelegter, weitgehend einheitlicher Größe befinden. Daraus lernten Forscher der Herstellerfirma Merck Sharp and Dohme, wie man auch auf der Erde entsprechende Suspensionen erzeugen kann. Diese könnten künftig für die Verwendung in Spritzen genutzt werden, was die Versorgung von Patienten erleichtern würde.

Modell für Metastasen-Bildung

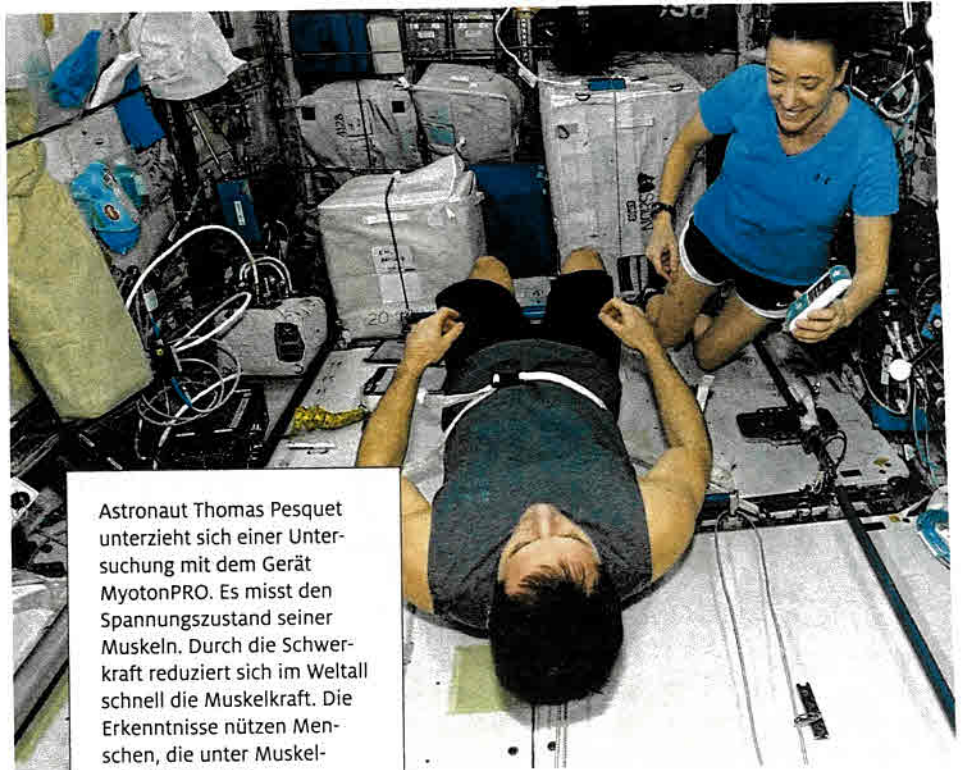
Doch der Klassiker der Weltraumexperimente, die Kristallzucht, ist bei Weitem nicht der einzige Beitrag, den die Forschung in der Schwerelosigkeit zur Entwicklung neuer Therapien und Medikamente leisten kann. So untersuchte Daniela Grimm, heute Leiterin der Abteilung Mikrogravitation und Translationale Regenerative Medizin am Universitätsklinikum Magdeburg, schon 2001, wie sich menschliche Schilddrüsentumor-Zellen in einer Random Position Machine (RPM) verhalten. In diesem Gerät werden biologische Proben entlang zweier unabhängiger Achsen so gedreht, dass die Wirkung der Schwerkraft im zeitlichen Mittel aufgehoben ist. Grimm stellte fest, dass sich die Zellen in dieser simulierten Schwerelosigkeit vom Untergrund lösen und als dreidimensionale

Zellklumpen – Sphäroide genannt – wachsen. „Normalerweise bilden sie am Boden einer Kulturflasche eine zweidimensionale Schicht“, erläutert die Medizinerin.

Es gelang ihr, die Raumfahrtbehörden durch jahrelange Vorarbeiten zu überzeugen, dass es wert ist, dieses Phänomen näher zu untersuchen. 2011, 2013 und 2017 schickte sie entsprechende Zellkulturen ins All. „Dabei stellten wir fest, dass sich Gene und Proteine, die bei der Bildung von Metastasen, also Tochter-tumoren, eine Rolle spielen, während des Sphäroid-Wachstums in der Schwerelosigkeit anders verhalten als unter normalen Bedingungen“, so Grimm. „Das wiederum erlaubt es, Angriffsziele für Krebsmedikamente zu finden, die man auf der Erde nicht entdecken könnte.“ Ihre Arbeitsgruppe hat bereits bewiesen, dass etablierte Arzneistoffe sich auf das Zellwachstum in Sphäroiden ganz ähnlich auswirken wie auf die Tumorbildung. Grimms Mitarbeiter Markus Wehland sagt: „Unsere Arbeitshypothese, der wir auch bei künftigen Raumfahrtmissionen nachgehen werden, lautet: Die Bildung der Sphäroide ist eng verwandt mit der Metastasen-Bildung.“

Er beschäftigt sich auch mit einem anderen, sehr aktuellen Forschungsgebiet unter Weltraummedizinern: der Gewebezüchtung (engl. Tissue Engineering). „Ich möchte herausfinden, inwieweit sich aus Stammzellen in der Schwerelosigkeit dreidimensionales Knorpelgewebe besser erzeugen lässt als unter Normalbedingungen“, sagt Wehland. Der Körper selbst erneuert Knorpelgewebe kaum. „Außerhalb des Körpers gezüchtetes Gewebe könnte künftig Menschen mit Arthrose oder mit Knorpelverletzungen helfen.“ Einige Arbeitsgruppen weltweit arbeiten zudem daran, in der Schwerelosigkeit verbesserte Gewebenchips herzustellen, die die Struktur und Funktion von Organen nachahmen und zum Test von Medikamenten dienen.

Forschung unter Schwerelosigkeit beschränkt sich selbstverständlich nicht auf biologisch wirksame Substanzen und Zellkulturen. So schickten 2017 Wissenschaftler um Se-Jin Lee von der Universitätsklinik UConn Health in Connecticut Mäuse auf die ISS. Einer Gruppe dieser



Astronaut Thomas Pesquet unterzieht sich einer Untersuchung mit dem Gerät MyotonPRO. Es misst den Spannungszustand seiner Muskeln. Durch die Schwerelosigkeit reduziert sich im Weltall schnell die Muskelkraft. Die Erkenntnisse nützen Menschen, die unter Muskelschwäche leiden.

Mäuse wurde eine Substanz mit dem Kürzel ACVR2B-Fc verabreicht. Diese richtet sich gegen zwei Proteine – Myostatin und Activin A – die auch beim Menschen Muskel- und Knochenwachstum regulieren. Die Idee dahinter war, in möglichst kurzer Zeit Hinweise darauf zu finden, ob die Substanz als Wirkstoff gegen Muskelschwäche in Betracht

punkten zu suchen. ACVR2B-Fc selbst erwies sich allerdings als ungeeignet, da es zu viele Nebenwirkungen hatte.

„Schwerelosigkeit führt zu Veränderungen im Körper, die sich unter anderem in einer verminderten Leistungsfähigkeit des Blutkreislaufs, Skelettmuskelschwund, Knochenschwund und Immunstörungen äußern“, resümieren in der Einleitung eines Fachartikels 28 US-amerikanische Forscher um Arun Sharma vom Cedars-Sinai Krankenhaus in Los Angeles. Das imitiert die gesundheitlichen Folgen des Alterns und von chronischen Krankheiten quasi im Zeitraffer. Die Erkenntnisse seien nicht nur für die Sicherheit der Astronauten bei langen Raumflügen von Belang, betonten die Wissenschaftler, sondern sie böten auch die Möglichkeit, Alterung und Krankheitsverläufe auf der Erde zu untersuchen sowie Therapeutika beschleunigt zu testen. ■

Die Folgen des Alterns im Zeitraffer

kommt. Darunter leiden beispielsweise Patienten mit erblichen Muskeldystrophien und Menschen, die das Bett nicht verlassen können.

Auch bei Astronauten reduziert sich bei einem Aufenthalt im Weltall die Muskelmasse. Tatsächlich schützte ACVR2B-Fc die Mäuse vor einem großen Teil des Muskelmasse-Verlustes, den unbehandelte Mäuse bei dem 33-tägigen Aufenthalt auf der ISS aufwiesen. Dieses Ergebnis spornte Pharmaunternehmen an, nach Substanzen mit ähnlichen Angriffs-



FRANK FRICK ist Chemiker und Wissenschaftsjournalist. Ein Weltraumflug reizt ihn nicht – er bleibt lieber auf der Erde.