

## **MAPHEUS-10-Nutzlasten**

### **DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum**

#### **ARTEC - Erstarrung von metallischen Legierungen**

##### **Team**

Dr. Sonja Steinbach, DLR MP-EXP

Michael Balter, DLR MP-EXP

Dr. Dirk Bräuer, DLR MP-EXP

Christoph Dreißigacker, DLR MP-EXP

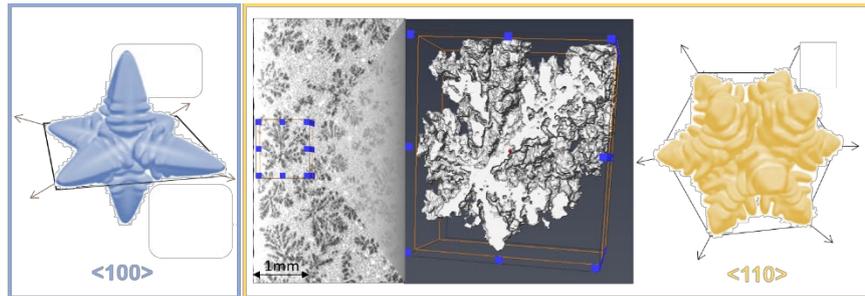
Schmelzen und Erstarren von metallischen Legierungen stehen am Beginn wichtiger Fertigungsverfahren z.B. im Maschinenbau, Bauwesen, Elektrotechnik, Elektronik. Der Prozess der Erstarrung liefert die Ausgangsposition für die Bildung des inneren Werkstoffaufbaus (Gefüge). Dieser legt die Werkstoffeigenschaften fest. Unter Schwerelosigkeit werden Strömungen in einer Schmelze ausgeschaltet und es entstehen bei der Erstarrung Gefüge, die sich mit modellhaften Beschreibungen eindeutiger vergleichen lassen. Damit existiert eine Basis für die Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Prozessgrößen und Gefüegegrößen auch für irdische Gussprozesse, die immer von Strömungen beeinflusst werden.

Das DLR hat das Experimentmodul ARTEC (AeRogel TEchnologie) [1] (Abbildung 1) entwickelt, mit der in 5 Ofeneinschüben verschiedene, mehrkomponentige Aluminium-Legierungen auf MAPHEUS-8 gerichtet erstarrt wurden, um die komplexen Vorgänge der Gefügeeinstellung u.a. bei der Wiederaufbereitung von Aluminiumschrotten anhand von Al-Si-Cu-Fe-haltigen Proben besser verstehen zu können. An Al-Ge Proben auf MAPHEUS 8 wurde gezeigt, dass Al-Dendriten, die normalerweise in der kristallographischen  $\langle 100 \rangle$  Richtung wachsen (Abbildung 2), mit zunehmendem Gehalt an einem kubisch anisotropen Legierungselement (hier Ge) ihre Wachstumsrichtung in  $\langle 110 \rangle$  ändern (engl. Dendrite Orientation Transition DOT). Auf MAPHEUS-10 wird nun zum Vergleich eine Legierung mit niedrigerem Ge-Gehalt prozessiert, bei dem in Simulationen (Variation der Anisotropie der flüssig-fest Grenzflächenenergie) ein Übergang zurück zur  $\langle 100 \rangle$  Wachstumsrichtung vorhergesagt wird. Zudem werden quaternäre Al-Si Gusslegierungen mit weiteren Cu- und Fe-Gehalten untersucht. Ferner wird eine bereits unter Hypergravitationsbedingungen, wie diese beim Schleuderguss auftreten, untersuchte Al-Cu Legierung prozessiert.

Diese Forschungsarbeiten werden in Zusammenarbeit mit Unternehmen der europäischen Gießerei-Industrie und Universitäts-Instituten durchgeführt.



**Abbildung 1:**  
ARTEC – Experimentmodul



**Abbildung 2:** CT-Aufnahme und aus 3D-Daten rekonstruierter Dendrit in Al-46wt.%Ge (MAPHEUS-8) gewachsen in  $\langle 110 \rangle$ -Richtung. Zum Vergleich ein  $\langle 110 \rangle$ -Dendrit aus einer Phasenfeldsimulation [2] . Markiert sind zusätzlich die sechs  $(110)$ -Richtungen. Zum Vergleich dazu ein in  $\langle 100 \rangle$ -Richtung gewachsener Dendrit.

[1] M. Balter, Ch. Neumann, D. Bräuer, Ch. Dreißigacker und S. Steinbach, Rev. Sci. Instr. 90 (12) (2019) 125117-1, ARTEC - a furnace module for directional solidification and quenching experiments in microgravity. DOI: 10.1063/1.5124822 ISSN 0034-6748

[2] M. Becker, J.A. Dantzig, M. Kolbe, S.T. Wiese, F. Kargl, Acta Mat. 165 (2019) 666-677, Dendrite orientation transition in AlGe alloys, DOI: 10.1016/j.actamat.2018.12.001.

## **MARS – Metallbasierte Additive Fertigung für Raumfahrt- und Schwerelosigkeitsanwendungen**

### **Team**

Dr. Christian Neumann, DLR MP-EXP  
Johannes Thore, DLR MP-EXP  
Mélanie Clozel, DLR MP-EXP  
Prof. Dr. Andreas Meyer, DLR MP  
Janka Wilbig, BAM  
Prof. Dr. Jens Günster, BAM

Ein Bauteil während eines Fertigungsprozesses durch sukzessiven Zusatz kleinster Materialmengen generisch aufzubauen, ist charakteristisch und namensgebend für die Additiven Fertigungsverfahren. Dadurch ergeben sich Vorteile z. B. gegenüber dem Urformen oder spanabhebenden Fertigungsverfahren, wie etwa hohe Flexibilität und Fertigungsgeschwindigkeit oder komplexe Geometrien ohne Mehraufwand abbilden zu können. Diese Vorteile machen additive Fertigungsverfahren auch für Raumfahrtanwendungen, dann unter reduzierter Schwerkraft entsprechend von Mars- und Mondoberfläche oder in völliger Schwerelosigkeit während Raumflügen, höchst interessant. Einige Minuten an Experimentzeit auf einer Forschungsrakete reichen hier bereits zur Fertigung kleiner Bauteile aus und liefern wichtige Erkenntnisse in Vorbereitung von Fertigungsprozessen größerer Bauteile auf Orbitalplattformen.

Metallische Massivglasbildner sind eine Klasse besonderer Metalllegierungen, die sich dadurch auszeichnen, dass sie, unter bestimmten Bedingungen, bei ihrer Erstarrung amorphe Strukturen ausbilden. Diese ungeordnete Struktur der Werkstoffe sorgt für einzigartige Bauteileigenschaften wie sehr hohe Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Mittels klassischer Urformverfahren ist die Materialstärke im Bereich von Millimetern limitiert, da die Abkühlgeschwindigkeiten im Inneren sonst Kristallisation erlaubt. Additive Fertigungsverfahren hingegen umgehen dieses Problem und können komplexe Geometrien ohne Limitierung der Materialstärke realisieren.

Beim MARS-Experiment wird speziell das Verfahren des Selektiven Laserschmelzens (SLM) von Metallen, insbesondere metallischen Gläsern, angewandt. Vorarbeiten dazu bestehen am Institut MP seit 2018, in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM). Hierzu wurde bei MP eine kompakte Raketennutzlast entwickelt, die einen solchen Fertigungsprozess in Schwerelosigkeit vollautomatisiert ausführen und überwachen kann. Die größten Herausforderungen neben der Entwicklung robuster und leichtgewichtiger Hardware, ist die Weiterentwicklung des Fertigungsprozesses, sodass dieser auch ohne Einwirkung von Schwerkraft funktionieren kann. Die entwickelte Fluganlage ist bereits für Laborversuche im Einsatz und wurde im September 2019 während einer Parabelflugkampagne erstmalig in Mikrogravitation getestet, ein erster Raumflug fand bereits auf der Forschungsrakete MAPHEUS-11 im Mai 2021 statt. Es konnte in einer Weltpremiere, ein Werkstück aus metallischem Massivglas im Weltraum gefertigt werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wird der Prozess weiter optimiert und für weitere Materialien erprobt.



**Abbildung 3: Links: MARS Nutzlast mit geöffneter Außenstruktur. Rechts: Blick in die Druckkammer.**

## RAMSES - Dynamik von Mikroschwimmer-Suspensionen

### Team

Raphael Keßler, DLR MP-EXP

Dr. Philip Born, DLR MP-EXP

Jakob Steindl, Uni Konstanz

Prof. Dr. Clemens Bechinger, Uni Konstanz

Prof. Dr. Thomas Voigtmann, DLR MP-EXP

Im Experiment RAMSES werden Modellsysteme für die Bewegung selbstantriebener Mikrometer-großer Teilchen in Suspension untersucht, mit denen die physikalischen Grundlagen der kollektiven Bewegung von Bakterien und ähnlichen Mikroschwimmern geklärt werden sollen. Zu diesen grundlegenden Mechanismen gehört die Bildung von Aggregaten solcher Mikroschwimmer, die aufgrund der eigenen Antriebskraft der Teilchen qualitativ anders verläuft als es von Suspensionen gewöhnlicher, nicht-antriebener Teilchen bekannt ist. Das Interesse der theoretischen Physik an diesen Mikroschwimmer-Systemen ist deshalb das Studium von Systemen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht. In Schwerelosigkeit ist es zum ersten Mal möglich, die Volumenbewegung modellhafter Mikroschwimmer ohne den störenden Einfluss von Sedimentation zu untersuchen [1].

Die technischen Herausforderungen des Experiments sind neben der erforderlichen extremen Miniaturisierung die Erzeugung einer homogenen Suspension von Teilchen nach den starken Startbeschleunigungen der Rakete, sowie die Umsetzung eines Antriebsmechanismus mit Hilfe stark energiehaltiger Lichtquellen und das Handling eines geeigneten Lösungsmittels. Auf früheren MAPHEUS-Flügen konnte bereits das Funktionsprinzip des Experiments getestet werden [2] und der relevante Parameterbereich eingeschränkt werden, der in dieser Kampagne nun im Detail untersucht wird.

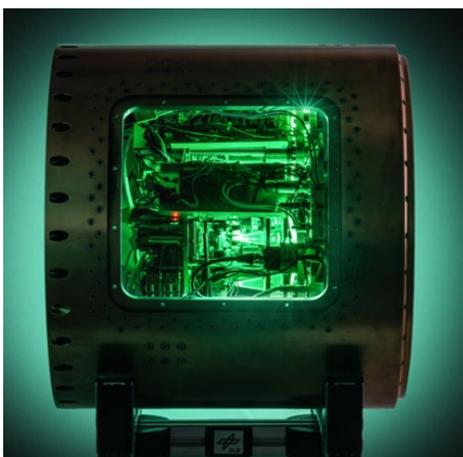


Abbildung 4: RAMSES – Experimentmodul mit eingeschalteten Treiblichtquellen

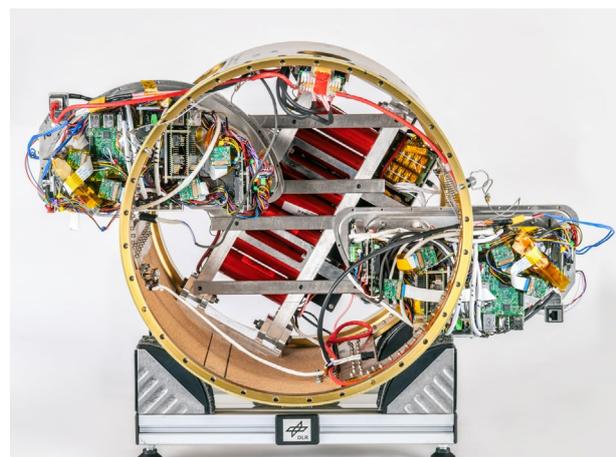


Abbildung 5: Einschubkammern ohne Hauben

[1] Th. Voigtmann, Non-Equilibrium Materials: Bridging a Gap in Understanding. Scientia, June 2018, DOI:10.26320/SCIENTIA160 (2018).

[2] R. Keßler, D. Bräuer, C. Dreißigacker, J. Drescher, C. Lozano, C. Bechinger, P. Born, and Th. Voigtmann, Direct-imaging of light-driven colloidal Janus particles in weightlessness. Review of Scientific Instruments 91, 013902 (2020).

**DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin**  
**MUSC – Nutzerzentrum für Weltraumexperimente**

**MExA - Multiple Experiment Array**

Das MExA-Experiment bietet eine multifunktionale Plattform für kleine, autarke Experimente, die unter Schwerelosigkeit getestet werden sollen. Das MExA-Experiment auf MAPHEUS-10 beherbergt folgende Experimente:

- **Trichoscope** – Ein Mikroskop zur Untersuchung der Schwerkraftwahrnehmung und des Verhaltens des einfachsten Tiers der Welt: *Trichoplax adherens*
- **apex MK.II SCP und MK.III SES** – Neue on-board-Computer zur Verwendung in einer wissenschaftlichen Kamera und für studentische Experimente
- **M-42** – ein Strahlenmessgerät zur Verwendung in der Orion-Mission
- **esa-ead** – Ein neues Personendosimeter für Astronautinnen und Astronauten

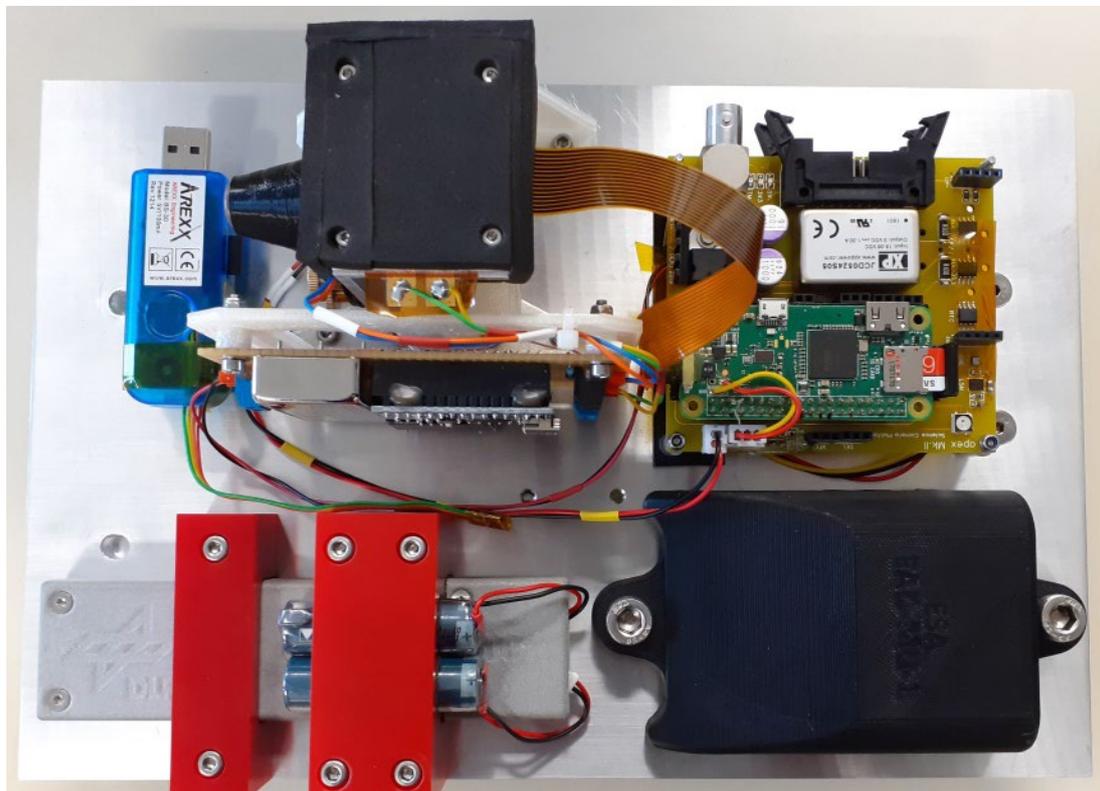


Abbildung 6: MExA-Plattform: Oben links: Trichoscope mit Datenlogger (blau), oben rechts: apex MK.II SCP und MK.III SES, unten links: M-42 und unten rechts: esa-ead

Im Folgenden werden die einzelnen Experimente beschrieben.

## • Trichoscope – Schwerkraftwahrnehmung im einfachsten Tier der Welt

### Team

Dr. Jens Hauslage, DLR-ME-BIO  
M.Sc. Nico Maas DLR RB-MSC  
Prof. Dr. Bernd Schierwater, TiHo  
Dr. Hans-Jürgen Osigus, TiHo  
Cand. rer. nat. Moritz Schmidt, TiHo  
Cand. rer. nat. Pia Reimann, TiHo  
Prof. Dr. Patrick Humbert, La Trobe  
Prof. Dr. Mark Kvansakul, La Trobe

### Hintergrund:

Die Schwerkraft ist der einzig konstante Reiz, der über Jahrmilliarden das Leben auf der Erde geformt hat. Die Orientierung im Raum ist eine grundlegende Eigenschaft vieler Organismen, die im Laufe der Evolution ein Überleben sichern konnte. Über die Entstehung dieser wichtigen Eigenschaft, die sich bis zum Menschen hin entwickelt hat, ist wenig bekannt und soll mit dem Experiment Trichoscope weiter aufgeklärt werden.

### Experiment:

Im Flug soll das Bewegungsverhalten von *Trichoplax adherens* aufgezeichnet werden, um die Bewegungsspuren mit Bodenkontrollen vergleichen zu können. Es ist bekannt, dass *Trichoplax adherens* spezialisierte Zellen besitzt, die in der Lage sind, mittels sedimentierbaren Aragonit-Kristallen die Schwerkraftrichtung wahrzunehmen. *Trichoplax adherens* als neues Modellsystem in der Gravitationsbiologie wird auf MAPHEUS-10 zum ersten Mal in den Weltraum fliegen. Dabei wird *Trichoplax* in einer geheizten, vakuumdichten Kammer mittels einer HD-Kamera während des gesamten Fluges gefilmt. Die Auswertung der Bewegungsmuster erfolgt später im Labor.

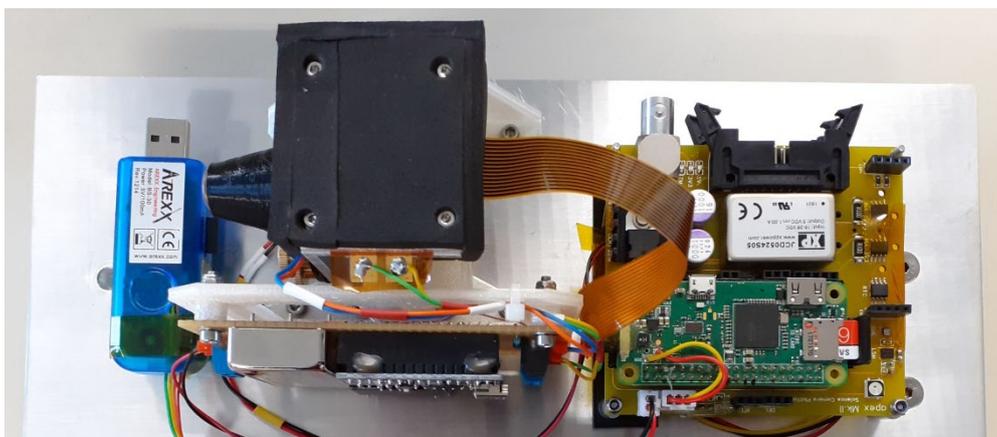


Abbildung 7: Trichoscope und apex MK.II SCP / apex MK.III SES Stack

- **apex Mk.II SCP / Mk.III SES**

**Team**

M.Sc. Nico Maas, DLR RB-MSC  
Dr. Jens Hauslage, DLR ME-BIO

Die DLR-Experimente apex Mk.II *Science Camera Platform* (SCP) und apex Mk.III *Student Experiment Sensorboard* (SES) des Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) sind die Fortsetzung des erfolgreichen *advanced processors, encryption and security experiment* (apex), welches als technischer Demonstrator die Verwendbarkeit neuer COTS-Komponenten testete und als leistungsfähiger *On Board Computer* (OBC) zur Erfassung und Verarbeitung eines missionsspezifischen Sensornetzes auf MAPHEUS 8 diente ([DOI: 10.1063/1.5118855](https://doi.org/10.1063/1.5118855) / [elib: https://elib.dlr.de/129725/](https://elib.dlr.de/129725/)).

SES ist ein 55x55 mm großes Interface-Element, welches eine Espressif ESP32 *Micro Controller Unit* (MCU), Micro-SD-Karte sowie eine UART-, I2C- und SPI-Schnittstelle zur Verfügung stellt. Unter Nutzung von SES können Studierende schnell eigene  $\mu$ G-Experimente realisieren. Die Anbindung an die Schnittstellen des Service-Moduls (die drei Raketensignale (Lift Off, Start/Stop of Data Sampling, Start/Stop of Experiment), das *Telemetry / Telecommand* (TM/TC) Interface sowie die Stromversorgung) wird durch SES realisiert. Auf MAPHEUS-10 wird dieses System mit einem exemplarischen Sensornetz ausgestattet und getestet.

Die SCP ist eine instrumentierte HD-Kamera, die u.a. zur Untersuchung der Auswirkungen von Mikrogravitation auf biologische Proben mittels eines angeschlossenen Mikroskops verwendet wird. Während MAPHEUS-10 wird dieses System beim Experiment Trichoscope Anwendung finden. Neben der Kamera, Umweltsensoren (u.a. Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Beschleunigung, Drehraten, usw.) und der Live-Video-Übertragung verfügt SCP über ein neues, erweiterbares TM/TC System, welches Telekommandos und Telemetrie-Empfang von bis zu vier angeschlossenen Nutzlasten / Subsystemen ermöglicht. Während des Fluges wird das TM/TC System mit den SCP Subsystemen (Kamera, Payload Simulator) sowie SES verwendet.

Im Rahmen der MAPHEUS-10 Mission werden die notwendigen Schnittstellen und ein Bodensegment für SCP/SES im Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) DLR Köln eingerichtet, um Empfang von Live Video / Telemetrie sowie Telekommandos von Höhenforschungsmissionen zu realisieren und exemplarisch zu testen.



Abbildung 8: Links: apex MK.II SCP, rechts: apex MK.III SES

## • M-42 - Strahlungsdetektion

### Team

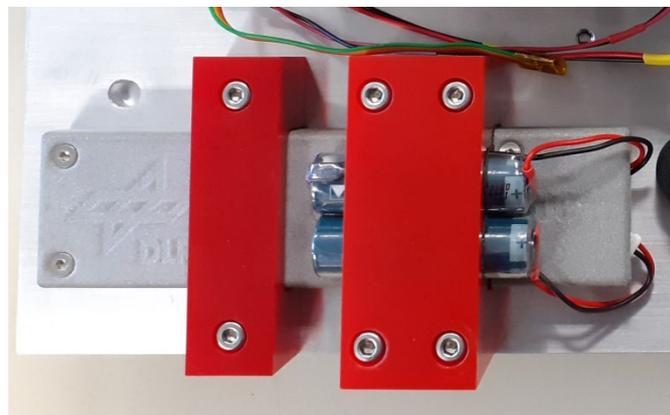
Dr. Thomas Berger, DLR ME-SBA

Dr. Karel Marsalek, DLR ME-SBA

Dr. Jens Hauslage, DLR ME-BIO

Die Arbeitsgruppe Biophysik der Abteilung Strahlenbiologie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin entwickelte in den vergangenen Jahren mehrere Strahlungsmessgeräte, unter anderem für die Internationale Raumstation ISS (TEPC im Rahmen des EAD Projekts), für die Anwendung auf Satelliten (RAMIS für Eu:CROPIS) und arbeitet derzeit an dem M-42-Detektor, der im Rahmen der NASA.Orion.Artemis 1-Mission die Strahlung auf dem Weg zum Mond messen wird.

Das Design von M-42 folgt den Anforderungen für die NASA-Orion-Artemis 1-Mission, vor allem den Anforderungen für a) kein Daten/Power-Interface zum Raumfahrzeug und b) Batterielaufzeit des Geräts von maximal 42 Tagen. M-42 ist darum ein kleines ( $142 \times 38 \times 13\text{mm}^3$ ), batteriebetriebenes (2x SAFT 2600mAh ER AA primary Li-Thionyl Primärzellen) Strahlungsmessgerät mit einer eingebauten  $1\text{ cm}^2$ -Siliziumdiode für die Messung der Dosis während des Flugs im freien Weltraum. Das System ist so gebaut, dass es auch für Messungen in Flugzeugen und für „High Altitude“-Experimente verwendet werden kann. Es handelt sich um einen Wiederflug des Experimentes, bei dem veränderte Software-Parameter getestet werden sollen. Die Ergebnisse der letzten Flüge wurden in der unten angegebenen Publikation veröffentlicht.



**Abbildung 9:M-42 Strahlungsdetektor**

Berger, T., Marsalek, K., Aeckerlein, J., Hauslage, J., Matthiä, D., Przybyla, B., ... & Wirtz, M. (2019). The German Aerospace Center M-42 radiation detector—A new development for applications in mixed radiation fields. *Review of Scientific Instruments*, 90(12), 125115.

- **esa – ead Strahlungsmessgerät**

**Team**

Dr. Thomas Berger, DLR ME-SBA

Dr. Karel Marsalek, DLR ME-SBA

Dr. Jens Hauslage, DLR ME-BIO

Die Arbeitsgruppe Biophysik der Abteilung Strahlenbiologie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin entwickelt im Rahmen eines ESA-Auftrags das Strahlungsmessgerät ESA-EAD Mobile UNIT (ESA-EAD MU) zur Messung der Strahlungsumgebung im Rahmen der NASA-Orion-Artemis 1-Mission.

Das Design der ESA-EAD MU folgt dem Design der MUs, die schon im Jahr 2016–2017 auf der Internationalen Raumstation (ISS) zur Messung der Strahlungsumgebung verwendet wurden. Im Unterschied zu den Einheiten, die auf der ISS verwendet wurden, verwendet das EAD-EAD MU (ähnlich wie das DLR M-42 Instrument) auch Primärzellen als Batterien. Ziel des jetzigen Fluges des ESA-EAD MU ist einerseits der Vergleich der Messdaten mit den Daten, die mit dem DLR M42-Messgerät während des Fluges gemessen werden, und andererseits dem Test der internen Funktionen der ESA EAD-MU.

Im Rahmen der folgenden NASA-Orion-Artemis 1-Mission werden fünf dieser Einheiten im Orion-Raumschiff angebracht.



**Abbildung 9: ESA EAD Mobile Unit Strahlungsmessgerät**