

## **MAPHEUS-9-Nutzlasten**

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

## **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

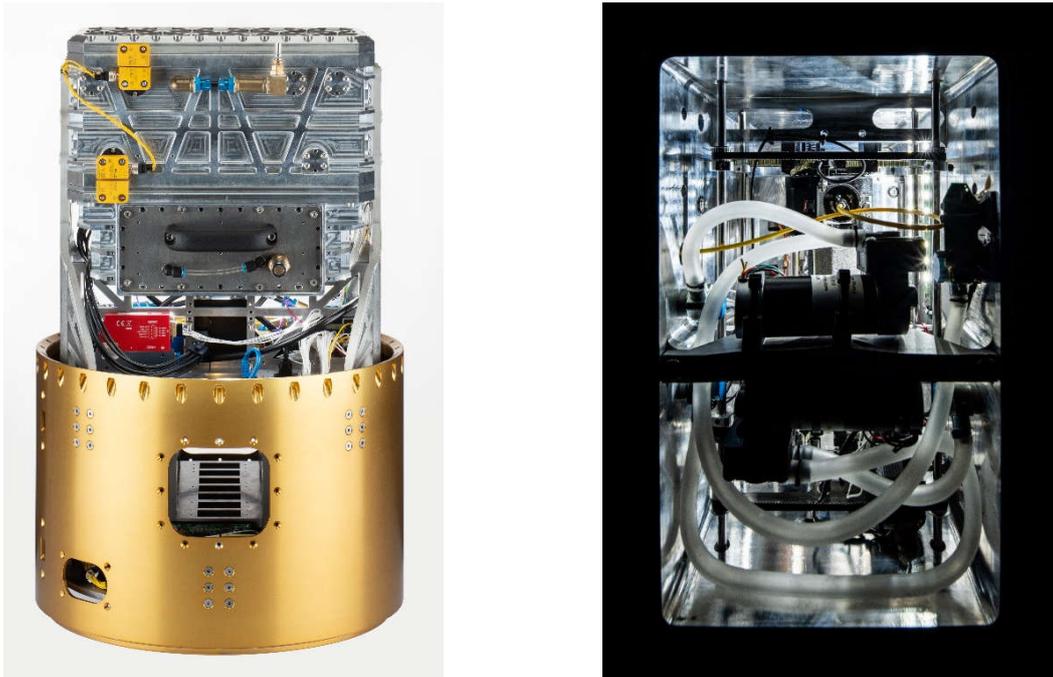
Ein Bauteil während eines Fertigungsprozesses durch sukzessiven Zusatz kleinster Materialmengen generisch aufzubauen, ist charakteristisch und namensgebend für die Additiven Fertigungsverfahren.

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

## SOMEX – Soft Matter Experiments

### Team

Raphael Keßler DLR-MP  
Dr. Philip Born DLR-MP  
Lisa Dossow DLR-MP  
Dr. Marc Engelhardt DLR-MP  
Dr. Dirk Bräuer DLR-MP  
Jakob Steindl Uni-Konstanz  
Prof. Dr. Clemens Bechinger Uni-Konstanz  
Prof. Dr. Thomas Voigtmann DLR-MP

Weiche-Materie-Systeme sind komplexe Materialien, die aus vielen Alltagsanwendungen z.B. bei Lebensmitteln oder Kosmetika bekannt sind. Es handelt sich um Systeme mit mesoskopischer Struktur, in der Regel aus Mikrometer großen Teilchen in Lösung. Zahlreiche Materialien gehören zur weichen Materie: granulare Materialien, Schäume, biologische Gewebe und Zellaggregate und Bakterienkolonien, sowie kolloidale Suspensionen, die grössere Aggregate bilden.

Da diese Systeme per Definition Zweiphasen-Systeme sind, können Dichteunterschiede eine wichtige Rolle spielen, je nach Fragestellung und genauem System. Beispiele sind die Dynamik von Mikroschwimmern – Modellsystemen für biologische Fluide – im Dreidimensionalen, oder angetriebene Granulate. In diesen Fällen erlauben Experimente in Schwerelosigkeit erst systematische Studien.

Das Verbindende zwischen den unterschiedlichsten Systemen der weichen Materie ist die gemeinsame Diagnostik: Mikroskopie mit sichtbarem Licht in Kombination mit Partikelverfolgung, statische und dynamische Lichtstreuung, sowie Mikrofluidik und -rheologie stellen sich dabei als besonders nützlich heraus. So kann mit einem begrenzten Satz von experimentellen Konzepten eine breite Palette von physikalischen Eigenschaften in einer großen Anzahl von physikalischen Modellsystemen realisiert werden.

Mit SOMEX wurde eine modulare Experimentierumgebung entwickelt, die für den Einsatz auf Mikrogravitationsplattformen wie der Höhenforschungsrakete MAPHEUS geeignet ist und aus austauschbaren Weichmaterie-Probenzellen besteht, die mit verschiedenen optischen Messgeräten kombiniert werden können.

In der Konfiguration des Zweiflugs besteht das Experiment aus einem Teil, der granulare Materie untersucht, und einem Teil, der Mikroschwimmer-Suspensionen mittels Lichtstreuung und optischer Mikroskopie untersucht. Im ersten Teil werden fundamentale



Abbildung 2: SOMEX Experimentmodul

physikalische Prinzipien der Lichtstreuung an großen Granulatteilchen untersucht, insbesondere der Rolle, die Oberflächeneigenschaften hier spielen. Das Mikroschwimmer-Experiment verwendet kolloidale „Janus“-Teilchen, deren halbseitige Beschichtung es erlaubt, mit starken Lichtfeldern aktive Bewegung zu erzeugen, so dass theoretische Vorhersagen zum Phasenverhalten von Bakterien-Suspensionen geprüft werden können.

## GRASCHA - Schallausbreitung in Granulatpackungen

### Team

Alberto Chiengue Tchapnda, DLR MP-EXP  
 Christoph Dreißigacker, DLR MP-EXP  
 Prof. Dr. Matthias Sperl, DLR MP-EXP  
 Dr. Karsten Tell, Univ. zu Köln  
 Dr. Peidong Yu, DLR MP-EXP

Das Experiment GraScha untersucht die Schallausbreitung in Granulaten bei sehr niedrigen Packungsdrücken. Die Experimentdurchführung in Mikrogravitation ermöglicht dabei Messungen in Packungen frei von Druckgradienten. Als Granulat dienen Glaskugeln mit einer bidispersen Radienverteilung. Die transmittierten Schallwellen liegen in einem breiten Amplituden- und Frequenzbereich, der die Untersuchung von nichtlinearen Effekten, Mehrfachstreuung und Dispersion erlaubt. "Ziel der Untersuchung ist die Bestimmung des Überganges von linearer zu nichtlinearer akustischer Wellenausbreitung. Dabei wird bei den niedrigen Drücken in Schwerelosigkeit eine sehr kleine Schallgeschwindigkeit beobachtet, die schon bei vergleichsweise kleineren Schall-Amplituden als am Boden nichtlineare Charakteristiken zeigt", sagt Prof. Matthias Sperl vom DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum.

Die im Juni 2019 durchgeführte Messung während des MAPHEUS-8 Fluges offenbarte eine überraschend starke Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit vom Packungsdruck, ein Verhalten, das nicht nur klar von der Hertzschen Theorie abweicht, sondern auch von bisher in der Literatur dokumentierten Abweichungen bei niedrigen Drücken. Beim anstehenden Flug sollen neben weiteren Time-of-Flight Messungen bei noch niedrigeren Packungsdrücken nun mit neuen Signalformen das Frequenz-abhängige Verhalten untersucht werden. Zudem sollen auch Scherwellen gemessen werden. Die Messungen dienen dem Test etablierter und vorgeschlagener Theorien zum Verlust der mechanischen Stabilität von Granulatpackungen. Das Verständnis der zugrundeliegenden Mechanismen und Bedingungen ist übertragbar auf die Entstehung von Erdbeben und Lawinen sowie auf die Rheologie und Festigkeit von heterogenen Baumaterialien wie Beton.



Abbildung 3: GRASCHA – Experimentaufbau

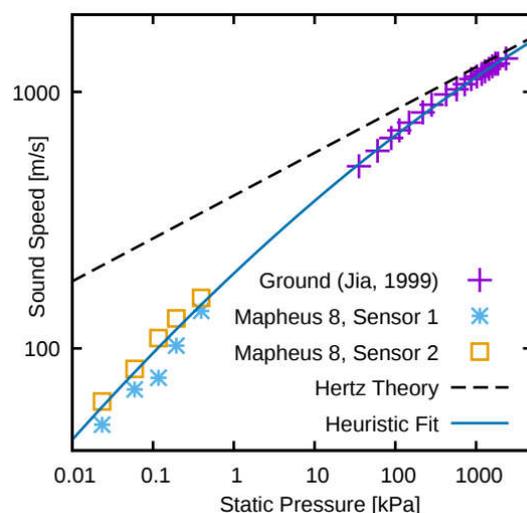


Abbildung 4: GRASCHA – erste Resultate zur Schallgeschwindigkeit

## DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin

### **GraviPlax – Das einfachste Tier der Welt hilft die Entstehung von Krebs besser zu verstehen**

#### **Team**

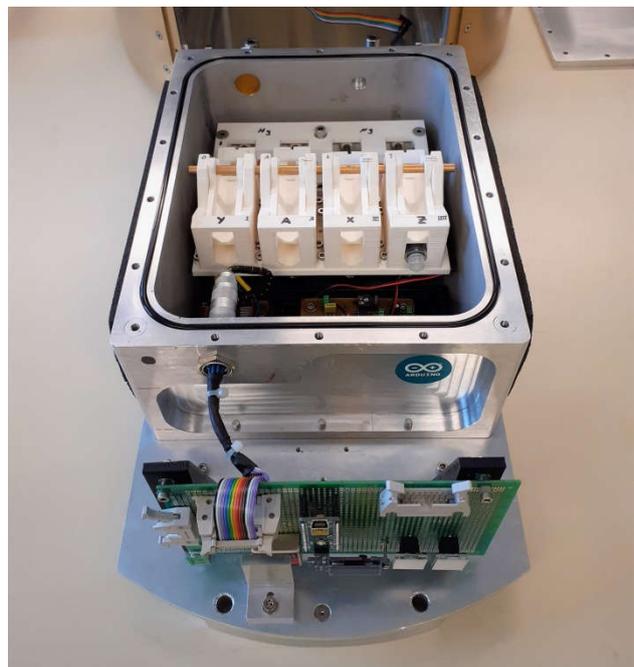
Dr. Jens Hauslage, DLR-ME-BIO  
Prof. Dr. Bernd Schierwater, TiHo, Hannover  
Dr. Hans-Jürgen Osigus, TiHo, Hannover  
Cand. rer. nat. Moritz Schmidt, TiHo, Hannover  
Cand. rer. nat. Pia Reimann, TiHo, Hannover  
Prof. Dr. Patrick Humbert, La Trobe, Melbourne  
Prof. Dr. Mark Kvensakul, La Trobe, Melbourne

#### **Hintergrund:**

Das Experiment GRAVIPLAX versucht den Einfluss der Schwerkraft auf die Zellpolarität, deren Verlust und die damit verbundene Krebsentstehung zu verstehen. Der Organismus, den wir im Graviplax-Experiment verwenden, ist das einfachste mehrzellige Tier, welches nur durch ein oberes und unteres Zellepithel aufgebaut ist. Trotz des einfachen Aufbaus des winzigen Tieres und der wenigen Zelltypen findet man in *Trichoplax adherens* alle wichtigen Gengruppen, die beim Verlust der Polarität in Zellen eine Rolle spielen. Damit können die Ergebnisse auch auf höhere Organismen angewendet werden. Das Experiment auf Mapheus 9 ist zudem ein erster Meilenstein in der Zusammenarbeit zwischen dem DLR, der Tierärztlichen Hochschule Hannover (TiHo) und australischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der La Trobe University in Melbourne.

#### **Experiment:**

Während des Fluges von MAPHEUS 9 werden zwei Tiergruppen fixiert, um die Veränderungen in den genetischen Informationen zu erhalten, die durch den Einfluss der Hypergravitations- und Mikrogravitationsphase erzeugt werden. Die erste Gruppe dieser Modellorganismen wird nach der Startphase fixiert, die zweite nach der maximalen Zeit der Mikrogravitation. Diese Proben werden dann mit Bodenkontrollen verglichen, die Aufschluss über regulatorische Mechanismen in den Zellen geben sollen.



**Abbildung 5: Graviplax Experiment-Einschub, Vier Proben mit *Trichoplax adherens* werden zu definierten Zeiten in Schwerelosigkeit fixiert**