

## METTRANS-FIN

METastable Solidification of Novel Peritectic Structures – Studies with TRANSPARENT Model Alloys: Final

<b>Programm / Ausschreibung</b>	ASAP, ASAP, ASAP 18. Ausschreibung (2021)	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.09.2022	<b>Projektende</b>	31.08.2026
<b>Zeitraum</b>	2022 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	48 Monate
<b>Keywords</b>	layered peritectic structures, peritectic solidification, microstructure, transparent organic substances, thermo-solutal convection		

### Projektbeschreibung

Im Rahmen des ESA-Projekts METCOMP beschäftigt sich die Montanuniversität Leoben (MUL) mit der Bildung von geschichteten peritektischen Mikrostrukturen und der Dynamik der Erstarrungsgrenze. Solche geschichteten Strukturen bilden sich unter Prozessbedingungen, bei denen beide Phasen, die pro-peritektische  $\alpha$  Phase und die peritektische  $\beta$  Phase, planar erstarren. Die beiden Phasen wachsen entweder abwechselnd quer zur Erstarrungsrichtung und bilden Bänder oder wachsen gleichzeitig parallel (gekoppelt) zur Wachstumsrichtung, ähnlich wie bei einer eutektischen Erstarrung. Eine besondere Innovation an der MUL ist die Verwendung der transparenten organischen Modellsubstanz TRIS-NPG anstelle einer peritektischen Metalllegierung. Dies ermöglicht die direkte Beobachtung (in-situ) der Erstarrungsprozesse mit einem Durchlichtmikroskop. Geschichtete peritektische Mikrostrukturen sind sehr empfindlich gegenüber thermo-solutale Konvektion vor der Erstarrungsfront. Daher wird die geschichteter peritektische Erstarrung unter  $\mu g$ -Bedingungen untersucht.

Zur in-situ Beobachtung werden Glasproben, genannt Kartuschen, die mit der Modellsubstanz gefüllt sind, im TRANSPARENT ALLOYS Gerät unter vordefinierten Prozessbedingungen verwendet. Bei diesem Gerät handelt es sich um einen von der ESA konstruierten Mikro-Bridgman-Ofen, der seit 2017 in der "Microgravity Science Glovebox" (MSG) an Bord der Internationalen Weltraumstation (ISS) verfügbar ist. Diese Ausrüstung wurde speziell für die  $\mu g$ -Experimente der MUL im Rahmen des METCOMP-Projekts entwickelt. Damit ist es erstmals möglich, die Dynamik der Fest-Flüssig-Grenzfläche während des Wachstums von geschichteten peritektischen Strukturen unter  $\mu g$ -Bedingungen direkt zu beobachten.

Die ersten Experimente an Bord der ISS wurden im Rahmen des FFG Projektes METTRANS-ISS SPACE im Frühjahr 2021 durchgeführt und weitere  $\mu g$ -Experimente sind von der ESA für 2024 geplant. Die Dynamik der peritektischen Strukturen, die unter rein diffusiven Bedingungen beobachtet wurde, unterscheidet sich erheblich von der unter 1g-Bedingungen. Unter 1g-Bedingungen erfolgte der Nukleationsevent der peritektischen Phase in der interzellularen Schmelze. Dies führte über die Bildung von Teilbändern zum gekoppelten peritektischen Wachstum. Unter  $\mu g$ -Bedingungen erfolgte die Keimbildung an der planaren  $\alpha$ /Flüssigkeits-Grenzfläche, was direkt zum peritektisch gekoppelten Wachstum führte.

Während der  $\mu$ g-Experimente 2021 wurden erfolgreich hypo- und hyper-peritektische Konzentrationen untersucht. Die für die Durchführung der Experimente festgelegten Prozessbedingungen basierten ausschließlich auf Voruntersuchungen unter 1g-Bedingungen. Die besondere Neuerung in diesem Projekt besteht darin, dass nun die peritektische Konzentration prozessiert wird und die dazu festgelegten Prozessbedingungen auf den Erfahrungen der  $\mu$ g-Experimente von 2021 beruhen.

Die Herausforderungen bei der Durchführung der  $\mu$ g-Experimente liegen neben den allgemeinen Problemen der Weltraumforschung in der Verwendung einer organischen Modellschmelze. Im Gegensatz zu Metallen bestehen organische Substanzen aus Molekülen, deren chemische Bindungen bei langfristiger thermischer Belastung brechen können. Daher sind entsprechend komplexe Vorbereitungen und Sicherheitsauflagen notwendig, bis die Modellschmelze TRIS-NPG an Bord der ISS verwendet werden kann.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse aus den Erstarrungsversuchen unter 1g- und  $\mu$ g-Bedingungen ermöglichen es den Einfluss der thermo-solutalen Konvektion auf die geschichteten peritektischen Mikrostrukturen besser zu verstehen. Diese bilden die Grundlage für die Erstellung einer numerischen Simulation mit unseren Partnern im Rahmen des METCOMP-Projekts. Diese Innovation ermöglicht es, fortschrittliche Materialien zu entwickeln, die zu 100 % recycelbar sind und auch dazu beitragen den Kohlenstoff-Fußabdruck in unserer Gesellschaft zu verringern.

## Abstract

Within the ESA project METCOMP, the University of Leoben (MUL) deals with the formation of layered peritectic microstructures and the dynamics of the solidification interface. Such layered structures are formed under process conditions where both phases, the pro-peritectic  $\alpha$  phase and the peritectic  $\beta$  phase, solidify planar. The two phases either grow alternately transverse to the solidification direction and form bands or grow simultaneously (coupled) parallel to the growth direction, similar to a eutectic solidification. A particular innovation at MUL is using the transparent organic model substance TRIS-NPG instead of a peritectic metal alloy. This allows direct observation (in-situ) of the solidification processes with a transmitted light microscope. Layered peritectic microstructures are very sensitive to convection ahead of the solidification front. Therefore, peritectic layered solidification is studied under  $\mu$ g-conditions.

For in-situ observation, glass samples called cartridges filled with the model substance are used in the TRANSPARENT ALLOYS device under predefined process conditions. This instrument is an ESA-designed micro-Bridgman furnace that has been available in the Microgravity Science Glovebox (MSG) aboard the International Space Station (ISS) since 2017. This equipment was developed specifically for MUL's  $\mu$ g-experiments as part of the METCOMP project. It makes it possible for the first time to directly observe the dynamics of the solid-liquid interface during the growth of layered peritectic structures under  $\mu$ g-conditions.

The first experiments aboard the ISS were performed as part of the FFG project METTRANS-ISS SPACE in spring 2021 and further  $\mu$ g-experiments are planned by ESA for 2024. The dynamics of the peritectic structures observed under purely diffusive conditions differ significantly from those observed under 1g-conditions. Under 1g-conditions, the nucleation event of the peritectic phase occurred in the intercellular liquid. This led to coupled peritectic growth via the formation of partial bands. Under  $\mu$ g-conditions, nucleation event occurred at the planar  $\alpha$ /liquid interface, leading directly to peritectic coupled growth.

Hypo- and hyper-peritectic concentrations were investigated during the 2021  $\mu$ g-campaign. The process conditions specified for carrying out the experiments were based exclusively on investigations under 1g-conditions. The particular innovation in this project is that the peritectic concentration is now processed and the process conditions specified for this purpose are based on the experience gained from the  $\mu$ g experiments in 2021.

The challenges in performing the  $\mu$ g-experiments, besides the general problems of space research, are using organic substances as a metal-like model system. Unlike metals, organic substances consist of molecules whose chemical bonds can break under long-term thermal load. Therefore, correspondingly complex preparations and safety requirements are necessary before the model substance TRIS-NPG can be used aboard the ISS.

The scientific findings from the solidification tests under 1g- and  $\mu$ g-conditions allow us to better understand the influence of thermo-solutal convection on the layered peritectic microstructures. These form the basis for the creation of a numerical simulation with our partners in the METCOMP project. This innovation allows the development of advanced materials that are 100% recyclable and also contributes to reducing our society's carbon footprint.

### **Projektpartner**

- Montanuniversität Leoben