

## MuCMEE

Multi-scale Characterisation of Materials in Extreme Environments

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Kooperationsstrukturen, Kooperationsstrukturen, F&E-Infrastrukturförderung Ausschreibung 2023	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.10.2024	<b>Projektende</b>	30.09.2027
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2027	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Materials Characterization; Tribosystem Characterization; Sustainability; Energy Transition		

### Projektbeschreibung

Zu den größten aktuellen Herausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft zählen der Klimawandel, die Verfügbarkeit begrenzter Rohstoffe und die Reduktion umweltschädlicher Substanzen. Wasserstoff und andere CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger werden immer bedeutender, was nach technischen Lösungen für diese besonderen Umgebungsbedingungen verlangt. Die Beständigkeit vieler technischer Oberflächen in Wasserstoffumgebung ist nur sehr bedingt gegeben. In der Energiegewinnung aus Wasserstoff und artverwandten Gasen entstehen hohe Prozesstemperaturen, die die involvierten Komponenten an die Einsatzgrenzen bringen. Hier kommen hochlegierte Stähle und Superlegierungen auf Ni- oder Co-Basis zum Einsatz, die energie- und ressourcenintensiv in der Herstellung und als kritische Rohstoffe gelistet sind. Aufgrund dessen besteht ein großer industrieller Bedarf nach Alternativen.

In Tribosystemen spielen sich die Effekte, welche wesentlich zur Langlebigkeit der Komponenten beitragen, auf der Mikro- bzw. Nano-Skala ab. Diese umfassen chemische Wechselwirkungen zwischen Umgebungsmedien und Oberflächen, die Veränderung der Mikrostruktur in Oberflächen-nahen Bereichen, sowie Rissinitiierung und die Entstehung von Verschleißpartikeln. Ziel des Projektes Multiscale Characterization of Materials under Extreme Environment (MuCMEE) ist der Aufbau einer multiskaligen Charakterisierungsinfrastruktur, die es erlaubt, komplexe Tribosysteme auf der Mikro- bzw. Nano-Skala bis hin zum Komponentenlevel unter extremen Bedingungen zu erforschen. Diese Realsystem-nahen Charakterisierungs- und Testmethoden ermöglichen einen umfassenden Ansatz für die Bestimmung der chemischen, mechanischen und tribologischen Eigenschaften über mehrere Größenskalen. Die realitätsnahen Umgebungsbedingungen umfassen Temperaturen bis 1000°C sowie aggressive Gasatmosphären.

Diese multiskalige Charakterisierungskette erlaubt im Nanometer-Bereich die hochaufgelöste Abbildung der Topografie, des chemischen Potentials sowie der vorhandenen Phasen mittels Kombination aus Rasterkraftmikroskopie und Raman-Spektroskopie. Im Mikrometer-Bereich werden mechanische Eigenschaften einzelner Gefügebestandteile auf dynamisch-mechanische Eigenschaften und tribologische Wechselwirkungen mittels Tribo-Nanoindenter unter Gasatmosphäre und erhöhten Temperaturen bestimmt. Die Mechanismen von Rissinitiierung und -ausbreitung werden unter Belastung mittels in-situ Versuchen über Mikrobiegebalken-, Mikrodruck- und Indentationsversuche im Rasterelektronenmikroskop aufgeklärt.

Der Einfluss der Mechanismen von Nano- und Mikroskala auf die tribologische Performance von Komponenten unter anwendungsnahen Bedingungen auf der Makroskala wird im Tribometer validiert, sowie die Tauglichkeit von Werkstoffen auf Komponentenlevel bewertet. Dieser neuartige multiskalige Ansatz ist einzigartig für die tribologische Forschung und ermöglicht eine beschleunigte Entwicklung von Werkstoffen für zukunftsweisende Anwendungen wie Wasserstofftechnologien.

## **Abstract**

The greatest challenges for economy and society are climate change, the availability of limited raw materials and the reduction of environmentally harmful substances. Hydrogen and other CO<sub>2</sub>-neutral energy sources are becoming increasingly important, which calls for technical solutions for such special environmental conditions. The durability of many technical surfaces in a hydrogen environment is very limited. Energy production from hydrogen and other gases such as ammonia generates high process temperatures, pushing the applied components to their limits. High-alloyed steels and superalloys based on Ni or Co are commonly used, which are listed as critical raw material and whose production is energy- and resource-intensive and can be environmentally harmful. Due to the limited availability of these raw materials, there is a high industrial need to replace them with available and more sustainable alternatives.

In tribological systems, micro- or nano-scale effects contribute significantly to the lifetime of components. These include chemical interactions between environmental media and surfaces, changes to the microstructure in surface-near zones, as well as crack initiation and the formation of wear particles. The aim of the Multi-scale Characterization of Materials under Extreme Environment (MuCMEE) project is to set up a multi-scale test house that allows complex tribosystems to be investigated from the micro- and nanoscale right up to the component level under extreme conditions. The proposed infrastructure includes characterization methods and application-near test equipment that enables a comprehensive approach to characterize the chemical, mechanical and tribological properties across multiple scales. The realistic environmental conditions include high-temperature up to 1000°C and aggressive gas atmospheres.

The multi-scale characterization approach of MuCMEE comprises high-resolution imaging of the topography, the chemical potential and the phases present in the nanometer range using a combination of atomic force microscopy and Raman spectroscopy for tip-enhanced Raman spectroscopy. In the micrometre range, mechanical and tribological properties of individual structural components are determined using tribo- and nanoindenters under gas atmosphere and elevated temperatures. Fracture behaviour of phases under load is investigated by means of in-situ tests using micro-bending cantilever-, micro-compression- and indentation tests in the scanning electron microscope. The influence of nano- and micro-scale mechanisms on the tribological performance of components is validated under application-near conditions on the macro-scale in a harsh environment tribometer, and the suitability of materials is evaluated at component level. This novel multi-scale approach is unique for tribological research and enables accelerated development of materials for future-oriented applications such as hydrogen technologies.

## **Projektpartner**

- AC2T research GmbH