

## ANGSTROM

A next generation STEM for multidimensional imaging and fast dynamic spectroscopy

<b>Programm / Ausschreibung</b>	F&E Infrastruktur, F&E Infrastruktur, F&E Infrastruktur 3. Ausschreibung	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.08.2021	<b>Projektende</b>	31.07.2026
<b>Zeitraum</b>	2021 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	60 Monate
<b>Keywords</b>	Low-kV, aberration-corrected STEM; multi-dimensional imaging and spectroscopy; in-situ experiments; fast dynamic studies; beam sensitive materials		

### Projektbeschreibung

Die Elektronenmikroskopie (EM) gilt als universelles Werkzeug zur Aufklärung grundlegender Fragen in den Naturwissenschaften. Mit ihren vielseitigen Möglichkeiten betreffend Bildgebung, Beugung und Spektroskopie, ist die Rastertransmissionselektronenmikroskopie (engl. STEM) eine der leistungsfähigsten Methoden, um detaillierte Kenntnisse auf atomarer Ebene zu gewinnen. Die bahnbrechende Korrektur des Öffnungsfehlers (Cs) und die Verfügbarkeit höherer Strahlströme eröffneten neue Untersuchungsmöglichkeiten, die sich jedoch für empfindliche Materialien und deren Struktur (inkl. Defekte) bei hohen Betriebsspannungen und Strahlungsdosen nachteilig auswirken. Für eine Vielzahl sensitiver Materialsysteme und Bioproben sind unter diesen Bedingungen Untersuchungen stark eingeschränkt. Nun allerdings erlebt die Elektronenmikroskopie revolutionäre Entwicklungen im Bereich innovativer Direktelektronendetektoren. Das Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik (FELMI) der TU Graz gilt als Österreichs leistungsfähigste Einrichtung im Bereich elektronenmikroskopischer Forschung. Ziel des FELMI und seiner Partner ist die Anschaffung eines kundenspezifischen STEMs, das in puncto Performance, Flexibilität und Durchsatz bestehende Systeme übertrifft. Ausgehend von einer kalten Feldemissionsquelle und einem Cs-Korrektor neuester Bauart, soll das Mikroskop als Niederspannungs-STEM (bis 30kV), dosiskontrolliert betrieben werden können. Eine Piezo-gesteuerte Probenbühne, ein Objektiv mit großem Polabstand und ein effizienter Röntgenspektrometer ermöglichen den flexiblen Einsatz von in-situ Probenhaltern für die 2D und 3D analytisch-tomografische Untersuchung strahlempfindlicher Proben. Segmentierte STEM Detektoren und die Einbringung von Direkt-Elektronen-Detektionskameras (DED) der nächsten Generation erweitern das System um völlig neue Untersuchungsmethoden. Diese Sensoren sind weitaus widerstandsfähiger gegen Strahlenschäden und übertreffen die vorhandene Technologie in Bezug auf Dynamikbereich, Niederspannungsverhalten und Geschwindigkeit. In Absprache mit Herstellern soll es gelingen, geeignete DEDs in ein abbildendes Energiefilter einzubauen, was die ultra-schnelle Aufnahme energiegefilterter, pixelaufgelöster STEM Signale (4D STEM) sowie von Spektren und Bildern an bis dato schwer zugänglichen Proben ermöglicht - Zeitaufösungen im Milli- bis Mikrosekundenbereich sind vorstellbar. Die geplante Infrastruktur führt eine Vielzahl hochinnovativer Charakterisierungsmodi ein und stellt damit zweifellos Österreichs leistungsstärkstes STEM-Instrument dar. Die Möglichkeit Untersuchungen bei äußerst geringer Strahlungsdosis und Primärenergie, hoher Orts- und verbesserter Impulsauflösung durchführen, sowie durch hohe Zeitauflösung auch

dynamische Prozesse verfolgen zu können, ist für zahlreiche Kooperationspartner aus den Bereichen der Physik, den Werkstoffwissenschaften, der Chemie und besonders den Biowissenschaften und der Medizin äußerst attraktiv.

## **Abstract**

Electron microscopy (EM), and particularly scanning transmission EM (STEM), is at the heart of some of the fundamental questions in the natural sciences. It is the only technique that allows for versatile imaging, diffraction and spectroscopy, all from the same location, down to the atomic scale. Key to atomic-level information was the break-through of spherical (Cs) aberration correction. The increased beam currents, high acceleration voltages and damaging beam doses, however, were realized to have detrimental effects on delicate atomic structures (and defects therein) even in materials science. For a wide range of innovative and topical material and life science systems, this often significantly hampers a meaningful image interpretation and reconstruction. Currently, EM witnesses a second, more silent revolution taking place in the development of ultra-sensitive and faster direct-electron detectors. Centrally positioned as Austria's largest facility for EM research, the Institute of Electron Microscopy and Nanoanalysis (FELMI) at the Graz University of Technology and its partners seek to establish a cutting-edge STEM instrument, complying with the latest detector technologies to allow for innovative characterization possibilities. The customized microscope shall excel in performance, flexibility and throughput over existing systems. Based on a high-brightness cold field-emission gun, the instrument will incorporate the latest generation Cs-corrector, allowing for deep sub-Ångstrom lateral resolution, picometer scale image precision and nanometer-scale depth sensitivity for optical sectioning. Operated at voltages down to 30kV only, featuring dose control as well as a piezo-controlled stage, a large pole-piece gap allows for 2D and 3D tomographic in-situ investigations of highly beam sensitive materials. This setup will be complimented by a large solid angle X-ray detection system as well as a segmented STEM detector but most importantly by next generation direct-electron detectors (DED). Being far more resilient to radiation damage, they outperform existing technology in terms of robustness, dynamic range, low voltage behavior and speed. Teaming up with spectrometer vendors, it is envisioned to incorporate this respective technology into an energy-filter. Depending on the sensor, fast pixelated 4D energy-filtered STEM as well as energy-loss spectroscopy and imaging applications become possible and dynamic in-situ studies are conceivable even down to the microsecond time scale. This configuration introduces a plethora of innovative characterization modes and would represent Austria's most powerful arrangement for low-dose, low-kV, high resolution STEM applications, spatially and potentially momentum resolved spectroscopy and in-situ dynamic studies. It will be widely deployed to study the electronic properties and chemical makeup of materials in condensed matter physics, applied material science, as well as chemistry, life science and medicine.

## **Projektpartner**

- Technische Universität Graz