

HAIQUAM

High resolution and AI-enhanced Quantum OCT for Additive Manufacturing

Programm / Ausschreibung	DST 24/26, Menschen in FT2025, Digitale Technologien 2025	Status	laufend
Projektstart	01.10.2026	Projektende	31.03.2029
Zeitraum	2026 - 2029	Projektlaufzeit	30 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 997.853		
Keywords	quantum optical coherence tomography; artificial intelligenct; medical applications; additive manufacturing		

Projektbeschreibung

HAIQUAM entwickelt eine neue Generation der quantenbasierten Optical Coherence Tomography mit undetektierten Photonen (QOCT) im mittleren Infrarot. Das System kombiniert ultrabreitbandige Quellen verschränkter Photonen, eine kompakte und robuste Interferometerarchitektur sowie Physik-informierte KI, um eine deutlich verbesserte axiale Auflösung, Stabilität und Signalinterpretierbarkeit für die medizinische Additive Fertigung zu erreichen. Damit adressiert HAIQUAM zentrale Grenzen bestehender OCT-Verfahren, insbesondere bei der Erkennung interner Strukturen, Materialübergänge und Mikrodefekte in hochwertigen keramischen und polymeren Bauteilen.

Kern des Projekts ist eine neuartige Breitband-SPDC-Quelle, realisiert durch maßgeschneiderte Phasenanpassung, chirped und aperiodische Polungsstrukturen in KTP und LN sowie gezieltes Dispersionsmanagement. Dies ermöglicht eine biphotonische Bandbreite, die eine axiale Auflösung von etwa 5–6 μm im mittleren IR erlaubt – entscheidend für die Schicht- und Strukturanalyse additiv gefertigter medizinischer Komponenten. Parallel wird das Messprinzip „undetected photons“ von empfindlichen Laboraufbauten auf ein kompaktes, ausrichttolerantes Interferometer übertragen, das für Dauerbetrieb und industrielle Umgebung ausgelegt ist und künftige At-/Inline-Integration ermöglicht.

Ein zweiter Schwerpunkt ist ein Physik-informiertes KI-Framework zur Verbesserung der QOCT-Signalqualität. Eine Monte-Carlo-Simulationsumgebung erzeugt realistische Datensätze, die Streuung, Speckles und interferometrische Artefakte berücksichtigen. Darauf basierend werden volumetrische KI-Modelle trainiert, die systemisches Rauschen und streuungsbedingte Verzerrungen unterdrücken, gleichzeitig aber schwache quanteninterferentielle Signale erhalten. Ziel ist eine höhere Robustheit, strukturelle Treue und Übertragbarkeit von der Simulation in reale Messungen.

Das Gesamtsystem wird anhand von fünf repräsentativen Anwendungsfällen validiert: hochpräzisen keramischen und biokeramischen Implantaten sowie polymeren Dental-Alignern mit lokal variierenden mechanischen Eigenschaften. Diese anspruchsvollen Beispiele demonstrieren die angestrebten Verbesserungen in Auflösung, Zuverlässigkeit und

Prozessintegration.

HAIQUAM leistet zudem einen Beitrag zu Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz: Frühere Defekterkennung und präzisere Prozessüberwachung reduzieren Energieverbrauch, Ausschuss und Nacharbeit. Die KI-gestützte Rekonstruktion verringert Wiederholmessungen und erhöht die Nutzungsdauer bestehender Messinfrastruktur. Transparente, datenbasierte Qualitätssicherung stärkt die Sicherheit patientenspezifischer medizinischer Produkte.

Das Konsortium besteht aus vier komplementären Partnern: RECENDT (QOCT), PROFACTOR (Physik-informierte KI und Nanoimprinting), LITHOZ (hochpräziser keramischer 3D-Druck) und LUXINERGY (fortschrittliche Photopolymere und Dental-Aligner). Die Partner verfügen über langjährige erfolgreiche Zusammenarbeit und bilden ein optimal abgestimmtes Team, das Quantenoptik, KI und medizinische Additive Fertigung integriert.

Durch die Kombination aus breitbandiger Quantenlichtquelle, kompakter Interferometrie und KI-gestützter Signalverarbeitung wird HAIQUAM ein leistungsfähiges Messwerkzeug für die medizinische Additive Fertigung und darüber hinaus schaffen und damit Qualität, Effizienz und Materialinnovationen entscheidend vorantreiben.

Abstract

HAIQUAM is aimed to develop the next generation quantum-based Optical Coherence Tomography with undetected photons (QOCT) in the mid-infrared range that features an ultrabroadband quantum light sources, a compact and robust interferometer architecture, and physics informed AI to deliver superior axial resolution, stability, and interpretability for advanced medical additive manufacturing. The project targets a key limitation of current OCT systems—resolving internal structures, material transitions, and micro defects in high performance ceramic and polymer components, including spatially graded architectures.

HAIQUAM introduces a broadband source of entangled photon pairs through tailored engineering of phase-matching properties for non-degenerate spontaneous parametric down-conversion, employing chirped and aperiodic poling in potassium titanyl phosphate (KTP) and lithium niobate (LN) and targeted dispersion management. By extending the biphoton bandwidth, the project aims at extreme $\sim 5\text{--}6\text{ }\mu\text{m}$ axial resolution in the mid IR (decoupled from the lateral resolution, on the scale of the wavelength of the probing light), enabling layer level analysis of additively manufactured parts. In parallel, sensing with undetected photons is transitioned from delicate table top setups to a compact, alignment tolerant interferometer designed for long term stability and industrial environments, supporting future at line and in line deployment.

The second pillar is a physics informed AI framework for enhanced QOCT signal interpretation. A Monte Carlo simulation platform generates clean and realistic QOCT datasets (accounting for speckles, interferometric artifacts and scattering). Using these data, advanced B scan and volumetric architectures are trained to separate systemic noise and geometry dependent distortions while preserving weak quantum interference features often suppressed by conventional denoising. The objective is improved robustness, structural fidelity, and transferability from simulation to experiment.

The integrated system is validated on five use cases representative of medical additive manufacturing: ceramic and bioceramic implants and polymeric dental aligners. These demanding applications are ideal demonstrators for the targeted resolution, reliability, and interpretability improvements.

HAIQUAM promotes sustainability by earlier defect detection and more accurate process monitoring, which reduces energy use and material waste. AI supported reconstruction lowers repeat measurements and extends the lifetime of sensing infrastructure. The project improves the safety and precision of patient specific components through transparent, data driven quality assurance.

The consortium brings together four complementary partners: RECENDT for QOCT, PROFACTOR for physics informed AI and nanoimprinting, LITHOZ for high precision ceramic 3D printing, and LUXINERGY for advanced photopolymers and dental aligner manufacturing. All partners have collaborated successfully in previous projects, forming a well aligned team that integrates quantum technology, AI and medical additive manufacturing.

By combining engineered quantum light, compact interferometry, and physics informed AI, HAIQUAM will establish a powerful measurement tool for medical additive manufacturing and beyond—enabling higher part quality, reduced process losses, and new functional material capabilities that strengthen Austria’s technological competitiveness.

Projektkoordinator

- PROFACTOR GmbH

Projektpartner

- Lithoz GmbH
- Luxinergy GmbH
- Research Center for Non Destructive Testing GmbH