

## SPACE

Satellite-based Photonic Quantum Machine Learning for Earth Observation

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Quantum Austria 4. Ausschreibung (2024)	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.10.2024	<b>Projektende</b>	31.01.2026
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	16 Monate
<b>Projektförderung</b>	€ 1.988.489		
<b>Keywords</b>	quantum photonics; photonic quantum machine learning; photonic integrated processor; multi-dimensional photon processing		

### Projektbeschreibung

Das Quantum Machine Learning ist eine vielversprechende Technologie, die die Vorteile der Quantenphysik auf das maschinelle Lernen anwendet. Das hat in den letzten Jahren zu bedeutenden Durchbrüchen geführt, die für Anwendungen wie die Bilderkennung erhebliche Quantenbeschleunigungen ermöglichen. Unter den verschiedenen Quanten-Plattformen erweist sich die Photonik als äußerst geeignet für Aufgaben des maschinellen Lernens, da optische interferometrische Netzwerke die Verarbeitung hochdimensionaler oder mehrstufiger Zustände ermöglichen und zu Nutzen machen.

Bemerkenswerterweise benötigen photonische Quantenprozessoren keine anspruchsvollen verschränkten Zustände, um ihre klassischen Gegenstücke zu übertreffen. Darüber hinaus ermöglichen photonische integrierte Schaltkreise sogar eine höhere Energieeffizienz und eine höhere Rechengeschwindigkeit bereits bei kleinen Systemen, selbst wenn diese im klassischen Bereich betrieben werden.

Photonische Quantenprozessoren bieten auch auf der Hardware-Seite erhebliche Vorteile. Einzelne Photonen sind tolerant gegenüber Rauschen und können bei Umgebungsbedingungen betrieben werden, ohne dass Vakuumkammern und Kryogenik erforderlich sind. Diese Vorteile machen die Quantenphotonik-Technologie zur am besten geeigneten Architektur für Weltraumanwendungen und damit für die Nutzung der Vorteile des Quantencomputers im Weltraum.

Photonische Quantenprozessoren sind daher bahnbrechend und ermöglichen maschinelles Quantenlernen für die Datenanalyse auf Satelliten, zum Beispiel für Erdbeobachtungsmissionen. Solche Missionen spielen in vielen Bereichen eine zentrale Rolle, von Klimastudien und Bevölkerungswachstum bis hin zur Erkennung von Bränden und vielem mehr. Mit der zunehmenden Bedeutung dieses Bereichs und der wachsenden Datenmenge, die von Satelliten gesammelt werden, ist es jedoch wünschenswert, wenn nicht sogar notwendig, Edge Computing direkt auf Satelliten durchzuführen. Dies ermöglicht die Verarbeitung von sicherheits-relevanten Daten in der Nähe ihres Ursprungs, um teure Kommunikationsressourcen einzusparen.

Mit diesem Projekt wollen wir im Jahr 2025 den ersten Quantencomputer der Welt im Weltraum demonstrieren, aufbauend auf unserer Pionierarbeit zum photonischen Quanten-Maschinenlernen. Die Projektmittel sind für die Fortsetzung und den Abschluss der Entwicklungen eines weltraumsicheren integrierten photonischen Prozessors für maschinelles Quantenlernen

unerlässlich. Dieser Quantencomputer-Prototyp, der aus einer Einzelphotonenquelle, einem abstimmbaren integrierten photonischen Prozessor und einer Detektionseinheit besteht, soll im Sommer 2025 mit einem Kleinsatellit in den Orbit gebracht werden. Kurz danach wollen wir eine quantengestützte Bilderkennung direkt auf dem Satelliten demonstrieren, wobei wir die von der Bordkamera aufgenommenen Erdbeobachtungsbilder verwenden.

Die Ergebnisse des Projekts werden die Anwendbarkeit von mehrdimensionalen photonischen Prozessoren für reale Anwendungen auf Satelliten beweisen. Dies wird auch Österreichs Vorreiterrolle in der Quantentechnologie stärken, da es das erste Land sein wird, das maschinelles Quantenlernen im Weltraum demonstriert. Da dieses Projekt das Potenzial hat, Quantencomputing im Weltraum als neuen Markt zu initiieren, wird das österreichische Quantentechnologie-Start-up "QUBO Technology GmbH" wirtschaftliches und kommerzielles Know-how einbringen, um die Grundlage für die Entwicklung kommerzieller Anwendungen zu schaffen.

## **Abstract**

Quantum machine learning is an exciting field applying the benefits of quantum physics to machine learning, a branch of artificial intelligence. The interplay between these two has yielded significant breakthroughs in the last few years, unlocking significant quantum speed-ups for application such as image recognition. Among the different quantum platforms, photonics stands as being extremely suitable for machine learning task as optical interferometric networks enable the processing of high-dimensional or multi-level states. Remarkably, photonic quantum processors do not require challenging entangling gates or entangled input states for outperforming its classical counterpart. Furthermore, tuneable photonic integrated circuits even allow for increased energy efficiency and enhanced computational speed already for small-scale systems, even when being operated in the classical domain.

Photonic quantum processors for quantum machine learning tasks also offer significant advantages on the hardware side. Single photons are resistant to different and even harsh environmental conditions, are tolerant to noise, and can be operated at ambient conditions without the need of vacuum chambers and cryogenics. These benefits, along with the possibility of processing photons via integrated networks, in form of a stable solid, make quantum photonics technology the most suitable architecture for space applications and thus for bringing the benefits of quantum computing into space. Hence, photonic quantum processors break the ground and enable quantum machine learning for data analysis on satellites, for instance, for Earth observation missions. Such missions are safety-relevant and play a central role in many fields, reaching from climate studies and population growth to fire detection and many more. However, with the increasing importance of this field and the growing amount of data being collected by satellites, it has become highly desirable, if not necessary, to perform edge computing directly on satellites. This allows to process data close to its origin in order to economize on expensive communication resources.

With this project we want to demonstrate the world's first quantum computer in space in 2025, building on our pioneering work on photonic quantum machine learning. The project funds are essential for continuing and finalizing the developments of a space-proof integrated photonic quantum machine learning processor. This quantum computer prototype, consisting of a single-photon source, a tunable photonic integrated processor and a detection unit, is planned to be launched via a small-satellite in summer 2025. Shortly thereafter we aim to demonstrate quantum-enhanced image recognition directly on the satellite, using Earth observation pictures taken by the onboard camera.

The project's results will prove the applicability of multi-dimensional photonic processors for real-life applications on satellites. It will also strengthen Austria's pioneering role in quantum technology by being the first country to demonstrate quantum machine learning in space. Since this project holds the potential of initializing quantum computing in space as a new market, the Austrian quantum technology start-up "QUBO Technology GmbH" will bring in business and commercial

expertise to build the foundation for developing commercial applications and to build an Austrian space technology business.

## **Endberichtkurzfassung**

The project delivers several novel results across technological and scientific domains. From a technological perspective, this is the first demonstration of a photonic integrated circuit successfully operating in space. This achievement opens the concrete possibility of performing large-scale computation directly on satellites, enabling edge computing in orbit. Such an approach is relevant not only for quantum technologies, but also for optical computing more broadly, with potential advantages in energy efficiency. From a quantum technology standpoint, the assembled payload represents the first example of a “portable quantum computer.” Its compact volume, relatively low weight (approximately 10 kg), and robustness allow it to be easily transported and operated with minimal infrastructure, requiring only a single 12V power supply and a communication interface. In addition, the system can be programmed in Python, enhancing its accessibility and flexibility. From the experimental perspective, this work reports the first observation of photon-photon interference in space, paving the way for the exploitation of quantum interference phenomena in orbital platforms. Finally, from an algorithmic point of view, the proposed quantum machine learning protocol is characterized by a minimal number of parameters, making it particularly efficient and scalable.

## **Projektpartner**

- Universität Wien