# PIQLearn

Photonic Integrated Quantum machine Learning

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Programm / Ausschreibung** | Quantum Austria, Quantum Austria 3. Ausschreibung (2023/2024) | **Status** | abgeschlossen |
| **Projektstart** | 30.04.2024 | **Projektende** | 29.01.2026 |
| **Zeitraum** | 2024 - 2026 | **Projektlaufzeit** | 22 Monate |
| **Barwert der Projektförderung** | € 1.088.970 | | |
| **Keywords** | Quantencomputing | | |

## Projektbeschreibung

Die Forschungsziele des Projekts „Photonic Integrated Quantum Machine Learning“ (PIQLearn) liegen im Rahmen des Quantenmaschinellen Lernens, nämlich dem Zusammenspiel von Quantenmechanik und Maschinellem Lernen (ML). Daher besteht eine Leitlinie des Projekts darin, die Quantenversion der derzeit am weitesten verbreiteten Standard-ML-Algorithmen mit einem starken Fokus auf photonische integrierte Schaltkreise (PICs) zu entwerfen. Ein weiterer interessanter Aspekt, der untersucht wird, ist, ob verrauschte Quantengeräte mittlerer Größe eine Leistungssteigerung im Vergleich zu Standardalgorithmen für reale relevante Aufgaben ermöglichen können. Diese Frage hat großes Interesse geweckt, nachdem kürzlich der versprochene Quantenrechenvorteil bei Aufgaben ohne Anwendung demonstriert wurde. Angesichts der Relevanz des Themas wurden in diesem Forschungsbereich bereits mehrere Studien durchgeführt, die sich jedoch hauptsächlich auf supraleitende Qubits stützten, bei denen der Quantenschaltkreisformalismus eine einfache Übersetzung hat. Photonische Plattformen könnten in diesem Zusammenhang jedoch einen Game Changer darstellen, da sie sich von Natur aus für adaptive Protokolle eignen, z. B. ML-Training, bei dem optimale Parameter iterativ gesucht werden müssen. Die Gründe dafür sind ihre Vielseitigkeit, einfache Rekonfigurierbarkeit und hohe Genauigkeit bei den durchgeführten Vorgängen. Ein weiterer entscheidender Aspekt ist die Forderung nach einem geringeren Energieverbrauch für optische künstliche neuronale Netze, die kürzlich nachgewiesen wurde. Ziel von PIQLearn ist es, diese Funktionen voll auszunutzen, um die QML-Forschung in der europäischen und österreichischen Forschungslandschaft voranzutreiben. Aus diesem Grund strebt PIQLearn auch einen Know-how-Aufbau im Bereich der photonischen integrierten Plattformfertigung in Österreich an. Um dieses Ergebnis zu erreichen, wird unser Projekt von der Synergie zwischen der Universität Wien (UW) und Joanneum Research (JR) mit Sitz in Graz (Österreich) profitieren. In dieser Zusammenarbeit stellt UW die experimentelle Expertise zur Erzeugung einzelner Photonenzustände (durch spontane parametrische Abwärtskonvertierung und Quantenpunkte) sowie zur Theorie im Zusammenhang mit dem Design und der Simulation von ML-Algorithmen bereit. JR wird dieses Wissen ergänzen, indem es seine Erfahrung mit der Femtosekunden-Laser-Mikrobearbeitung (FLM) nutzt, der derzeit vielseitigsten Technik zur Implementierung von PICs. Daher wird JR im Rahmen von PIQLearn sein Know-how auf diesem Gebiet ausbauen Herstellung von PICs, hin zur Realisierung verlustarmer, stromsparender und zuverlässiger universeller photonischer Prozessoren, die mit einem breiten Wellenlängenspektrum kompatibel sind. Diese Zusammenarbeit wird einen wesentlichen

Beitrag zum Stand der Quantenberechnung auf innovativen photonischen Plattformen ermöglichen. Die Ergebnisse dieses Projekts werden den Weg für weitere Untersuchungen zu photonischen QML-Algorithmen ebnen, die im Rahmen des hochmodernen Quantencomputings, angewendet auf reale Aufgaben, eine entscheidende Rolle spielen können. Generell wird es bemerkenswerte Einblicke in die Möglichkeiten von Rechenmodellen mit optischen Implementierungen für die Gestaltung zukünftiger, nachhaltigerer Rechenalgorithmen bringen.

## Abstract

The research goals of the project “Photonic Integrated Quantum machine Learning” (PIQLearn) lie within the quantum machine learning framework, namely the interplay between quantum mechanics and machine learning (ML). As such, one guideline of the project is to design the photonic version of widely studied standard ML algorithms, with a strong focus on integrated circuits. Another intriguing aspect that will be investigated is whether state-of-art quantum devices can grant a performance enhancement with respect to standard algorithms for real-world tasks. This question has become particularly significant, given that quantum advantage has only been demonstrated on tasks with no known applications. Given the relevance of the topic, several studies have been already conducted within this research area, but mostly relying on superconducting qubits, where the quantum circuit formalism has a straightforward translation. However, photonic platforms could constitute a game changer in this context because they are naturally fitting to adaptive protocols, e.g. ML training, where optimal parameters need to be iteratively searched. This suitability stems from their versatility, ease of reconfigurability and high fidelity in the performed operations. Another crucial aspect that encourages the use of photonics is the lower energy consumptions of optical artificial neural networks, which has been recently demonstrated. PIQLearn aims to take full advantage of these features, to boost the research on QML, in the European and Austrian research landscapes. This is why this project strives also for an increase in the know-how of the manufacturing of photonic integrated platforms in Austria. To achieve this result, our project will benefit from the synergy between the University of Vienna (UW) and Joanneum Research (JR), located in Graz (Austria). In this collaboration, UW provides the experimental expertise on the generation of single photon states (through spontaneous parametric down-conversion), on the exploitation of photonic integrated circuits (PICs), from a user’s point of view, and on the theory related to the design and simulation of ML algorithms. JR will complement this knowledge, by leveraging their experience on femtosecond laser micromachining, which is currently the most versatile technique to implement PICs. Hence, within PIQLearn, UW will devote its efforts to the design and implementation of novel QML algorithms oriented to real-world applications, while JR will work towards the realization of low-loss, low-power and reliable universal photonic processors, compatible with a broad wavelength spectrum. This interplay will allow to take a significant step forward in QML, exploring novel algorithms and exploiting innovative photonic platforms. The results of this project will pave the way to further investigations on photonic QML algorithms, which might prove a keystone within quantum computing, applied to real-world tasks. More in general, PIQLearn will bring remarkable insights on the potentialities of computational models with optical implementations, towards the design of future, more sustainable, computation algorithms.

## Projektkoordinator

- Universität Wien Quantenoptik, Quantennanophysik, Quanteninformation

## Projektpartner

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH