

## HPQC

High-Performance integrated Quantum Computing

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Quantum Austria 1. Ausschreibung (2022)	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	31.12.2022	<b>Projektende</b>	30.12.2025
<b>Zeitraum</b>	2022 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	37 Monate
<b>Keywords</b>	quantum computing, high-performance computing, hybrid computing, benchmarking		

### Projektbeschreibung

Quantencomputer (QC) haben das Potential, Lösungen für wachsende globale Herausforderungen zu bieten: von der Entwicklung neuer Materialien, wie etwa Hochtemperatursupraleiter zur Senkung des globalen Energieverbrauchs um mehrere Prozent, über kosteneffiziente Düngemittel als Alternativen zur Haber-Bosch-Methode zur Bewältigung globaler Energie- und Ernährungsprobleme, bis hin zu neuen Methoden zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung zur Eindämmung der globalen Erwärmung. Derzeit sind QC allerdings hochspezialisierte Prozessoren, individuell bedient und programmiert von speziell ausgebildetem Personal. Erst seit kurzem ermöglichen spezielle Quanten- programmiersprachen breiteren Zugang zu QCs. Dennoch existieren bisher keine Strukturen für Endnutzer mit Interesse an der Nutzung von Quantentechnologien, die es Nicht-Spezialisten ermöglichen, Lösungen für ihren eigenen Anwendungen in moderner QC-Hardware umzusetzen. Zur Zeit werden ähnliche Aufgaben durch Hochleistungs- rechenzentren (HPCs) übernommen. Daher ist es strategisch unumgänglich, neue Ansätze und Vergleichsmaßstäbe zu entwickeln, um QCs direkt in klassischen HPCs zu integrieren. Allerdings gibt es bisher weder standardisierte QC-HPC-Schnittstellen, noch Strukturen, die auf eine hybride Infrastruktur aufbauen könnten, oder auch Vergleichsmaßstäbe, welche die durch QCs bereitgestellten Vorteile erfassen könnten.

In diesem Projekt werden wir, zum ersten Mal in Europa, einen Quantencomputer direkt an ein HPC-Zentrum anbinden. Aufbauend auf existierender Infrastruktur in Innsbruck wird das Konsortium eine Quanten-Beschleunigungs-Umgebung entwickeln, welche QCs und HPCs verknüpft, sodass speziell entwickelte quanten-geeignete Codebeschleunigungsstrukturen Konzeptnachweise auf der hybriden Infrastruktur erbringen können. Das Konsortium wird die Codebeschleunigung, Programmdatenbanken, und die holistische hybride Quanten-HPC-Infrastruktur Leistungsvergleichen basierend auf der Realisierung und Evaluierung von Schlüsselanwendungen in den jeweiligen Gebieten unterziehen. Zusätzlich, zielen wir darauf ab, mit Verbesserungen der QC-Hardware die Grenze jenes Punktes zu erreichen, an dem QCs in ihrer Leistung in bestimmten Aufgaben Vorteile gegenüber HPCs erzielen können. Das Konsortium wird die erste vollintegrierte, hybride Quanten-HPC-Infrastruktur in Europa schaffen. Die dafür entwickelten Schnittstellen werden die Entwicklung von QCs weiter beschleunigen, während es die Verbindung zu HPC-Systemen erlauben wird, Informatiker zum ersten Mal direkt an entsprechender Quantenhardware in der Handhabung quanten-orientierter Algorithmen und Anwendungen auszubilden. Soweit wir es sagen können, werden wir die ersten fundamentalen Methoden für systematische Leistungsvergleiche von traditionellen und quanten-beschleunigten HPCs und zugehöriger Software entwickeln. Das aus diesem Projekt resultierende Wissen wird in Zukunft einen Grundstein für die Entwicklung von hochspezialisierten Programmiersprachen für hybride

Quanten-HPCs bilden. Unser Ziel ist es, eine Brücke zwischen Quantenforschung und Informatik zu bilden, und damit das österreichische und europäische Quantenökosystem zu stärken.

## **Abstract**

Quantum computers (QCs) promise to tackle some of the growing global challenges: from developing new materials, such as high-temperature superconductors for reducing global power consumption by several percent, to cost-efficient fertiliser as an alternative to the Haber-Bosch method for addressing global energy and nutrition problems, to new methods for carbon capture for addressing global warming. However, quantum computers are currently specialised processors that need to be programmed by highly-trained individuals. Only recently quantum programming languages have started to facilitate wider access to QCs. Yet, for end users interested in using quantum devices, no frameworks exist that would allow non-specialists to implement solutions to their own use cases for novel quantum computing hardware. Currently, these use cases are addressed by high-performance computing (HPC) facilities. As such, it is essential to develop novel solutions for integrating QCs directly with HPC systems. Yet there are currently no well defined interfaces between HPC and QC systems, neither frameworks that could build on top of a hybrid infrastructure, nor benchmarks to capture the benefits that QCs offer. Within this project we will integrate, for the first time in Europe, a quantum computer directly into an Austrian HPC facility. Building on top of existing QC and HPC infrastructure in Innsbruck, the consortium will develop a dedicated quantum acceleration ecosystem connecting QC and HPC nodes such that newly developed quantum-aware code acceleration frameworks can execute proof-of-concept use cases on the hybrid infrastructure. The consortium will benchmark the quality of the code acceleration, framework, libraries, and the holistic hybrid QC/HPC infrastructure via the implementation and evaluation of key applications in the fields of QC and HPC. Additionally, improvements to the QC hardware aim to achieve performance levels at the edge for QC to provide a computational advantage over HPC systems. The consortium will realise the first fully integrated, hybrid QC/HPC infrastructure in Europe. The developed interfaces will facilitate and increase the speed of development of quantum computers, while the connection towards HPC systems will allow to train computer scientists for the first time directly on quantum-aware algorithms and use cases using quantum hardware. To the best of our knowledge, we will develop first fundamental methods for the systematic performance benchmarking of traditional and Quantum accelerated HPC code. The knowledge gained can be used later as a building block for the development of high-level languages for the hybrid Quantum/HPC programming. We aim to provide a bridge for the connection of quantum research to computer science, and subsequently strengthen the Austrian and European quantum eco-system.

## **Projektkoordinator**

- Universität Innsbruck

## **Projektpartner**

- Technische Universität Wien
- Universität Linz
- Math.Tec GmbH
- Alpine Quantum Technologies GmbH
- IBM Research GmbH