SPARK-Q

Quantum-Accelerated Swarm Intelligence for Future Edge Computing

Programm / Ausschreibung	DST 24/26, Menschen in FT2025, Digitale Technologien 2025	**Status**	laufend
Projektstart	01.09.2026	**Projektende**	31.08.2028
Zeitraum	2026 - 2028	**Projektlaufzeit**	24 Monate
Barwert der Projektförderung	€ 875.779		
Keywords	swarm intelligence; quantum computing; edge orchstration		

Projektbeschreibung

Zukünftige Edge-Cloud-Systeme, die Anwendungen in Smart Cities, Mobilität, Energie und Logistik zugrunde liegen, werden zunehmend dynamischer, heterogener und datenintensiver. Infolgedessen müssen zentrale Betriebsverfahren – wie verteilte Wissensgraphensuche, autonome Ressourcenallokation und Echtzeit-Orchestrierung – trotz schwankender Lasten, intermittierender Konnektivität und strenger Latenzanforderungen zuverlässig bleiben. Klassische Schwarmintelligenzverfahren wie die Ant Colony Optimisation bieten dezentralisiertes und adaptives Verhalten, leiden jedoch unter langsamer Anfangskonvergenz, hohem Kommunikationsaufwand und verringerter Stabilität, wenn sich Topologien oder Arbeitslasten rasch verändern. Parallel dazu entwickeln sich Quantentechnologien in Richtung praktikabler mittelgroßer Systeme, doch ihr Einsatz in realen verteilten Systemen ist bislang weitgehend unerforscht. Dies eröffnet eine günstige Gelegenheit, Quantenberechnung nicht als eigenständigen Problemlöser zu nutzen, sondern als strukturellen Leitmechanismus, der klassisches Schwarmverhalten stärkt und beschleunigt.

Das Projekt adressiert diese Lücke durch die Entwicklung eines hybriden Optimierungsrahmens, der klassische Schwarmintelligenz mit strukturellen Priors auf Basis von Quanten-Walks kombiniert. Die zentrale Innovation besteht in der Nutzung streuender diskreter zeitlicher Quanten-Walks zur Extraktion globaler Konnektivitätsinformationen aus dynamischen Edge-Topologien. Diese quantenabgeleiteten Wahrscheinlichkeitslandschaften initialisieren und steuern die Pheromonstruktur von ACO und ersetzen die blinde frühe Exploration durch eine informierte, topologiebewusste Führung. Das Projekt führt ein hybrides Zwei-Zeitskalen-Design ein, bei dem Quanten-Walks eine langsam aktualisierte globale Struktur liefern, während klassisches ACO eine schnelle lokale Anpassung übernimmt. Dieser Ansatz reduziert Netzwerküberflutung, beschleunigt die Konvergenz und verbessert die Robustheit unter dynamischen Bedingungen. Ergänzende quanteninspirierte spektrale Approximationen stellen sicher, dass die Methode auch dann einsetzbar bleibt, wenn Quantenhardware nicht verfügbar oder nur eingeschränkt nutzbar ist.

Das Projekt wird validierte klassische Baselines, hybride quantenunterstützte Algorithmen sowie eine einheitliche Simulationsumgebung für die systematische Evaluation liefern. Benchmarking anhand zweier repräsentativer

Anwendungsfälle – verteilte Wissensgraphensuche und Pod-Scheduling – wird Verbesserungen hinsichtlich Konvergenzzeit, Lösungsqualität, Kommunikationsaufwand und energierelevanter Proxy-Metriken quantifizieren. Analytische Modellierung und eine Abbildung auf Blueprint-Ebene gewährleisten die Kompatibilität mit aufkommenden europäischen Quantenarchitekturen. Zu den erwarteten Ergebnissen zählen ein vertieftes wissenschaftliches Verständnis darüber, wie Quanten-Walks Schwarmintelligenz steuern können, praxistaugliche hybride Algorithmen für kurzfristig verfügbare Geräte sowie evidenzbasierte Empfehlungen zur Integration quantenunterstützter Optimierung in zukünftige Edge-Systeme.

Langfristig zielt das Projekt darauf ab zu demonstrieren, dass quantengeleitete Schwarmintelligenz eine skalierbare, resiliente und energieeffiziente Optimierungsschicht für verteilte Infrastrukturen der nächsten Generation bereitstellen kann und damit eine Grundlage für zukünftige hybride Quanten-Klassik-Technologien schafft.

Abstract

Future edge–cloud systems that underpin smart-city, mobility, energy, and logistics applications are becoming increasingly dynamic, heterogeneous, and data-intensive. As a result, core operational methods—such as distributed knowledge-graph search, autonomous resource allocation, and real-time orchestration—must remain reliable despite fluctuating loads, intermittent connectivity, and strict latency constraints. Classical swarm-intelligence techniques like Ant Colony Optimisation offer decentralised and adaptive behaviour, but they suffer from slow early convergence, high communication overhead, and reduced stability when topologies or workloads change quickly. In parallel, quantum technologies are advancing toward practical mid-scale devices, yet their use within real distributed systems is still largely unexplored. This opens a timely opportunity to use quantum computation not as a standalone solver, but as a structural guide that strengthens and accelerates classical swarm behaviour.

The project addresses this gap by developing a hybrid optimisation framework that combines classical swarm intelligence with quantum-walk-based structural priors. The central innovation is the use of scattering discrete-time quantum walks to extract global connectivity information from dynamic edge topologies. These quantum-derived probability landscapes initialise and steer the pheromone structure of ACO, replacing blind early exploration with informed, topology-aware guidance. The project introduces a two-timescale hybrid design in which quantum walks provide slowly updated global structure, while classical ACO performs fast local adaptation. This approach reduces network flooding, accelerates convergence, and improves robustness under dynamic conditions. Complementary quantum-inspired spectral approximations ensure that the method remains deployable even when quantum hardware is unavailable or limited.

The project will deliver validated classical baselines, hybrid quantum-enhanced algorithms, and a unified simulation environment for systematic evaluation. Benchmarking across two representative use cases—distributed knowledge-graph search and pod scheduling—will quantify improvements in convergence time, solution quality, communication overhead, and energy-related proxies. Analytical modelling and blueprint-level mapping ensure compatibility with emerging European quantum architectures. The expected results include a deeper scientific understanding of how quantum walks can guide swarm intelligence, practical hybrid algorithms suitable for near-term devices, and evidence-based recommendations for integrating quantum-assisted optimisation into future edge systems.

The project ultimately aims to demonstrate that quantum-guided swarm intelligence can provide a scalable, resilient, and energy-efficient optimisation layer for next-generation distributed infrastructures, establishing a foundation for future hybrid

quantum–classical technologies.

Projektkoordinator

- Lakeside Labs GmbH

Projektpartner

- Parity Quantum Computing GmbH
- Universität Innsbruck