

Quantum Computing bei JR

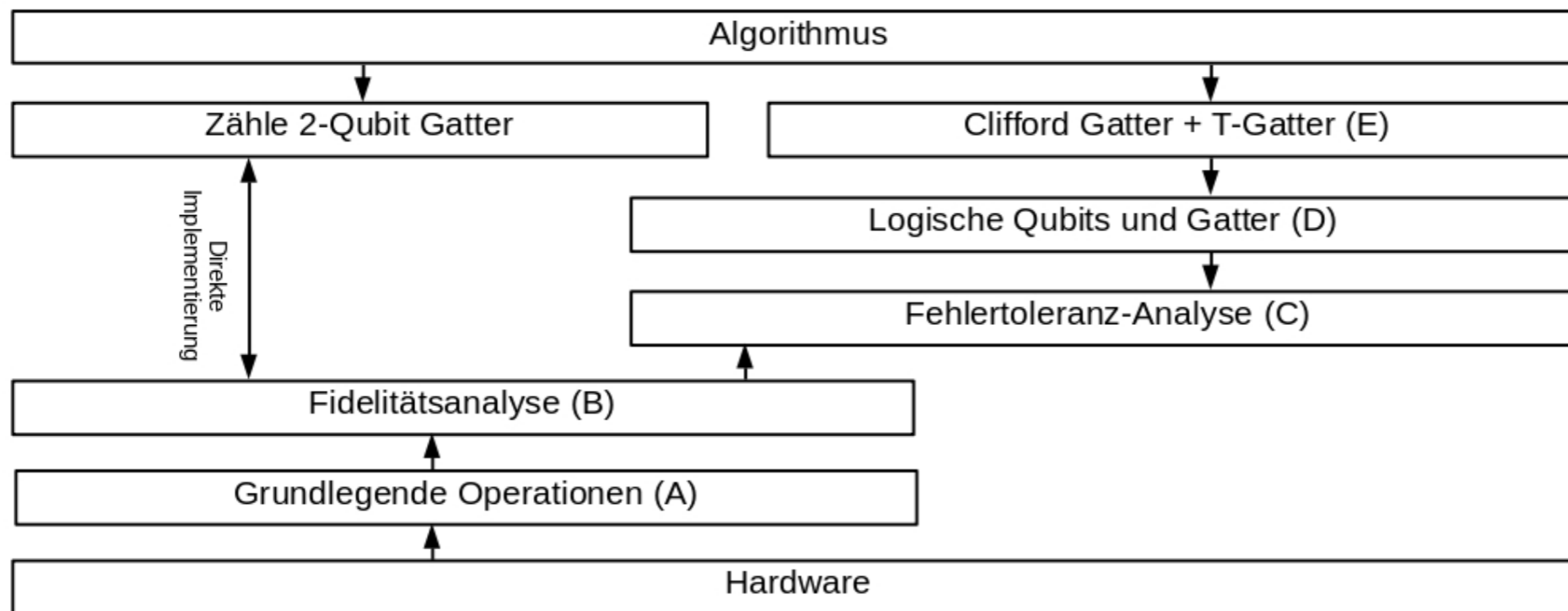
Andreas Windisch, Hermann Fürntratt, Florian Krebs, Roland Unterberger,
Herwig Zeiner

**Joanneum Research, DIGITAL
Intelligent Vision Applications**

**18. November 2025
Vienna**

Quantum Computing - Aktueller Stand

2 ■ Abhängigkeiten zwischen Algorithmen und Hardware



(A), (B): **NISQ**: Noisy Intermediate Scale Quantum Technology

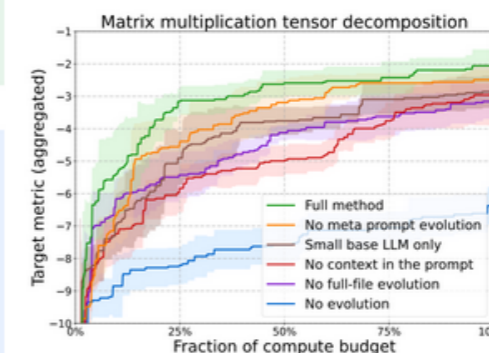
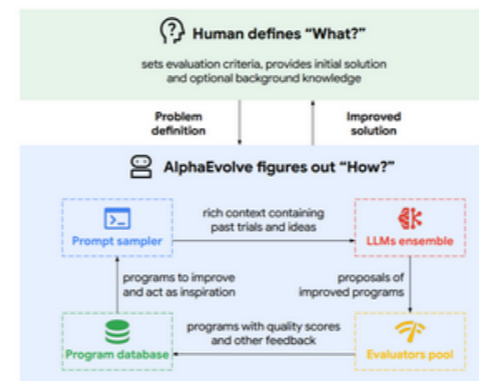


Artificial Intelligence – State of the Art

AlphaEvolve: a coding agent for algorithm discovery and engineering impact

▶ A recent example towards open-endedness for scientific research is DeepMind’s AlphaEvolve, an evolutionary coding agent that iteratively edits programs, tests candidates with automated evaluators, and promotes the best variants to discover novel solutions. Note the evaluation/fitness functions are still defined by the engineers.

- This approach discovered a new matrix multiplication algorithm that to multiply 4x4 complex-valued matrices using 48 scalar multiplications, improving upon Strassen’s 1969 algorithm.
- Across a set of 50 open problems in mathematics, the system is said to have rediscovered SOTA in 75% of cases and achieved improved existing solutions in 20% of cases.
- AlphaEvolve also delivered production gains at Google, including 0.7% resource recovery and faster kernels.
- It represents a concrete example of an AI system generating novel, verifiable, and superhuman scientific knowledge.



stateof.ai 2025

JR Projekt QuanCo

Quantum Computing Challenge

5

Untersuchung folgender Quantum Computing Fragen

- **Welche Abstraktionsebenen werden in Quantum Computing eingesetzt?**
 - Towards higher Abstraction Levels in Quantum Computing
- **Wie kann ich mithilfe von Reinforcement Learning Quantenschaltkreise optimieren?**
 - Unitary matrix decomposition: Potential to improve Quantum Algorithms with Reinforcement Learning
- **Einsatz von Quantum Bayes'schen Netzwerken zur Wissens-Modellierung**
 - Modeling Musical Knowledge with Quantum Bayesian Networks
- **Umsetzung und Vergleich von „Real World“ Quantum Anwendungen**
 - Comparative Analysis of Quantum Feature Selection Methods: QUBO-FS vs. VarQFS
 - Exploring Image Search on Quantum Computing Systems
- **Wissensvermittlung im Bereich Quantum Computing**
 - RAGxplain - Pipeline

Towards higher Abstraction Levels in Quantum Computing



6

Fürntratt et al., ICSOC 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14518. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0989-2_13

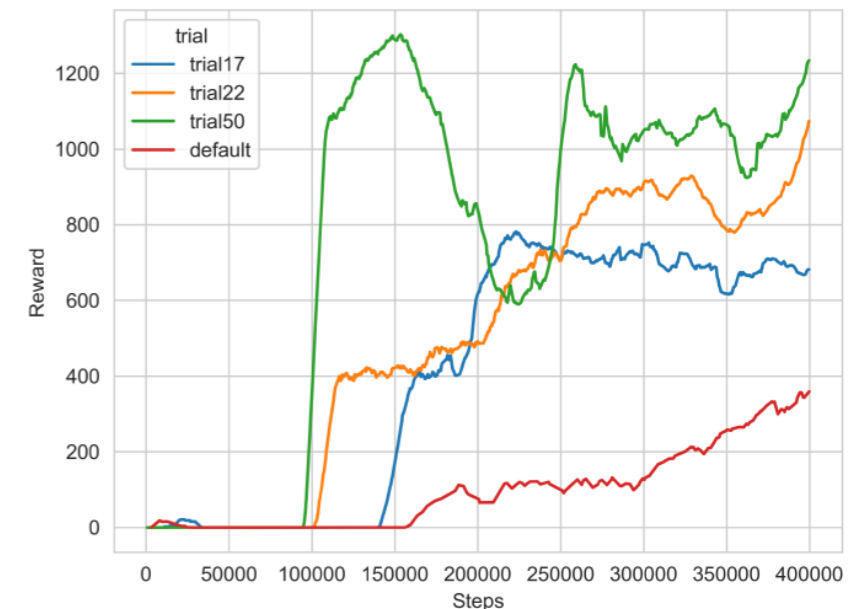
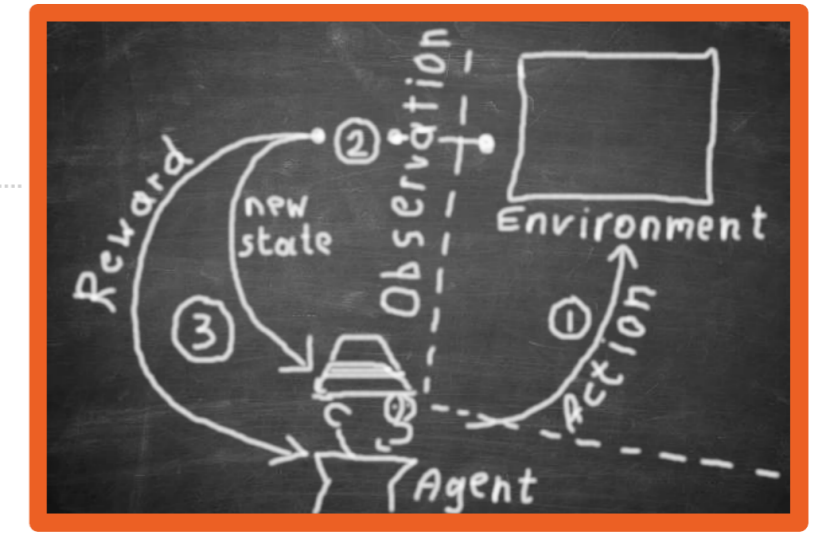
Höhere Abstraktionsebenen erleichtern die Arbeit mit komplizierten Systemen

- Untersuchung verschiedener Abstraktionsebenen in Quantum-Computing-Programmierframeworks und SDKs.
- Analyse etablierter QC-Frameworks: Silq, Qrisp, OpenQI, Qiskit, Cirq, IonQ und Ocean.
- Vergleich mit CUDA Quantum, das einen aus der klassischen Softwarewelt stammenden Abstraktionsansatz repräsentiert.
- Evaluation LLM-gestützter Entwicklungswerkzeuge, insbesondere GitHub Copilot, als derzeit höchste Abstraktionsebene.
- Einordnung der Ergebnisse als Survey und Positionspapier zur zukünftigen Gestaltung von Abstraktionsmodellen im QC-Softwarestack.

Potential to improve Quantum Algorithms with Reinforcement Learning

Agent zum Optimieren von Quanten Algorithmen

- Viele QC-Algorithmen (z.B. QAOA, VQE*) haben Parameter, die optimiert werden müssen
 - RL-Agent sucht optimale Lösungen
- Finden von „minimalen“ Quantenschaltkreisen
 - Einsatz von vorgegebenen hardware-abhängigen Gatterelementen
 - Solovay-Kitaev Theorem: Schaltungs-Approximation kann beliebig genau gemacht werden



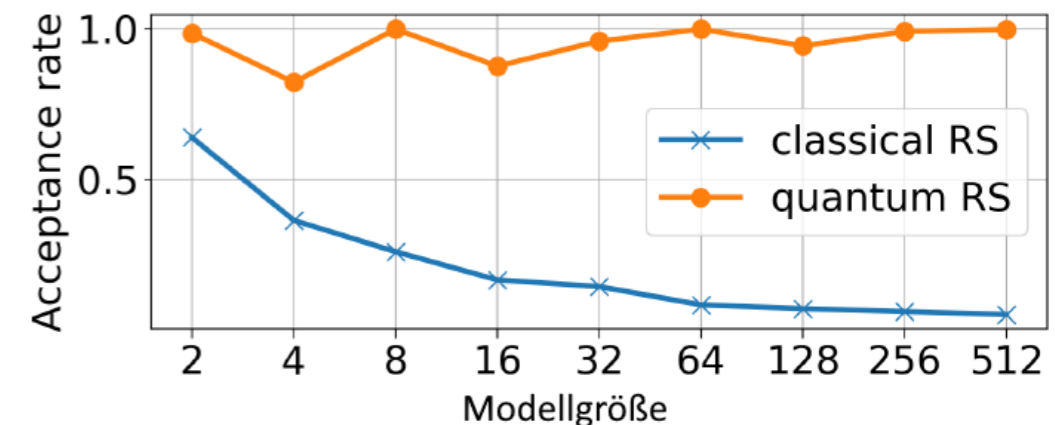
*) QAOA: Quantum Approximate Optimization Algorithm; VQE: Variational Quantum Eigensolver

Quantum Bayesian Networks for Knowledge Modeling

8

Lernen von Zusammenhängen in Bayes'schen Netzen

- Wissen ist in Form eines gerichteten azyklischen Graphen (DAG) gespeichert
 - Knoten repräsentieren Zufallsvariablen
 - Kanten stellen bedingte Wahrscheinlichkeiten zwischen Knoten dar $P(X | Y = y)$
- Bayes'sches Netzwerk wird als Quantenschaltkreis mit Rejection Sampling implementiert
 - Quantum Rejection Sampling mit Amplitude Amplification liefert Speedup gegenüber klassischem Verfahren



Comparative Analysis of Quantum Feature Selection Methods: QUBO-FS vs. VarQFS*)

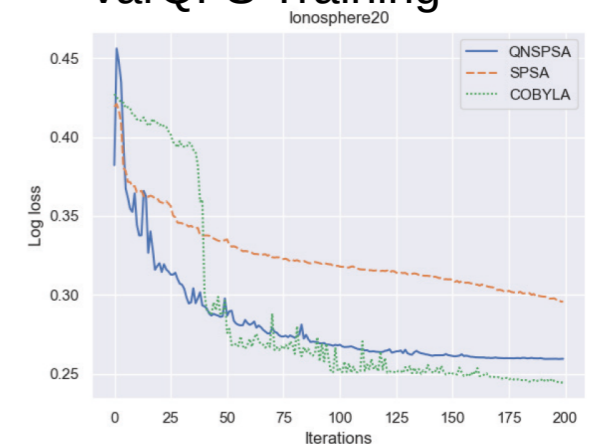
9

Quantenalgorithmus zur Bestimmung welche Features für Machine Learning relevant sind

- Reduktion der Komplexität, Verbesserung der Modell Performanz
- Finden des optimalen Feature-Sets ist NP-hart
- 2 Quantum Feature-Selection Strategien
 - QUBO-basierte Feature Auswahl
 - Blackbox-Optimierung mit 2 Variational Quantum Ansätzen
 - QNSPSA
 - COBYLA (effizienter)

*) QUBO-FS Quadratic Unconstrained Binary Optimization – Feature Selection
 VarQFS Variational Quantum Feature Selection
 QNSPSA Quantum Natural Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation
 COBYLA Constrained Optimization BY Linear Approximations

VarQFS Training



	Ionosphere20		
	Logloss train	Logloss test	# Features
Exhaustive (wrt train)	0.25403	0.37218	17
Exhaustive (wrt test)	0.29593	0.21969	13
Random	0.25466	0.35745	17
RFE	0.25403	0.37218	19
VarQFS (QNSPSA)	0.25847	0.32722	15
VarQFS (COBYLA)	0.25411	0.37245	17
QUBO	0.28908	0.37994	16

Exploring Image Search on Quantum Computing Systems

Implementierung und Vergleich zweier Quantenalgorithmen zur CDVA*)-basierten Bildsuche

- Problem: Große Bilddaten in Quantensystem zu transferieren
→ CDVA Features für die Suche sind nur 512 Bit Vektoren / Bild



search item



first best match



second best match



third best match

- Suchergebnis mittels Spearman Rank Correlation Bewertung, für unterschiedliche Schaltungstopologien
- 1. „Small but Deep“ (wenig Qubits, tiefe Schaltung) mit Qiskit (IBM)
- 2. „Wide but Shallow“ mit Qrisp (Fraunhofer FOKUS)
- Ergebnis: „Flache“ Schaltungen mit vielen Qubits sind wesentlich günstiger für Implementierungen.

Descriptor	Qiskit		Qrisp	
	#Qubits	CX Depth	#Qubits	CX Depth
64	7	250	961	319
128	8	506	2241	435
256	9	1018	5121	569
512	10	2042	11521	721

*) CDVA: Compact Descriptor for Video Analysis

RAGxplain Pipeline

Einsatz von RAG*) Modell zur lokalen Wissensvermittlung von Quantum Computing Know How

Scientific work
with formulas

$$i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$$



Automatic
Detection Service

$$i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$$



Adding additional
Descriptions

$$i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$$

Q: About Schroedinger Equation
A: The Schroedinger Equation explains ...



Extended
PDF Document

$$i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$$

The Schroedinger Equation explains ...



Local RAGxplain
Chat Service

Tell me about the
Schroedinger
Equation

The Schroedinger
Equation explains ...

*) RAG: Retrieval Augmented Generation

Thank you for your attention!



Andreas Windisch
Head of Research Group Intelligent Vision Applications

JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
DIGITAL - Institut for Digital Technologies

Steyrergasse 17
8010 Graz

Tel. +43 316 876-5208
andreas.windisch@joanneum.at

www.joanneum.at/digital



www.joanneum.at/digital