



1. Einleitung

Quantencomputer sind eine revolutionäre Technologie, die die Grenzen der klassischen Informatik überschreiten. Basierend auf den Prinzipien der Quantenmechanik versprechen sie, komplexe Probleme zu lösen, die für herkömmliche Computer nahezu unlösbar sind. Konventionelle Computer können bis zu 10^{13} Schaltereignisse pro Sekunde erreichen, während Quantencomputer um ein Vielfaches schneller arbeiten. Dies liegt unter anderem an der Überlagerung von Qubits, der Lichtgeschwindigkeit in optischen Quantencomputern und der Quantenverschränkung. Auch das Orbital-Angular-Momentum (OAM) spielt hier eine wichtige Rolle, da es Licht mit einer topologischen Ladung ungleich Null erzeugen kann. Darüber hinaus haben wir ein Patent im Bereich Multiplexing für optische Quantencomputer angemeldet, das neue Wege zur effizienteren Nutzung dieser Technologie eröffnet. Für die Berechnungen wird ein universeller Satz von logischen Gattern verwendet.

2. Ziele

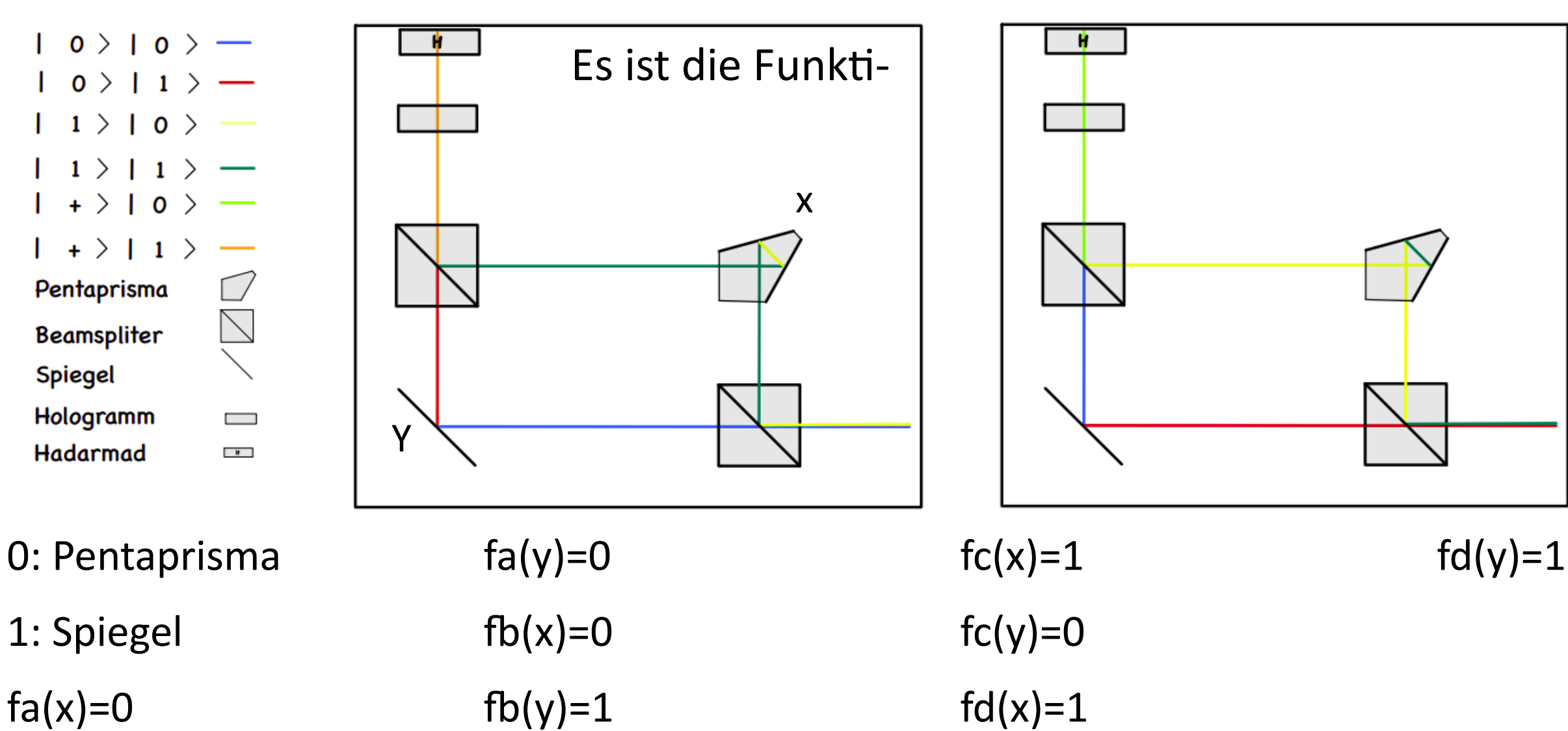
Unsere Ziele waren:

- Optische Quantencomputer umweltfreundlicher zu gestalten,
- Algorithmen auf unseren Quantencomputer rechnen zu lassen,
- eine theoretische Darstellung vom Deutsch-Jozsa-Algorithmus zu entwickeln,
- zu beweisen, dass unser universelles Set auch auf optischen Quantencomputern mit Laserlicht laufen kann,
- Laserlicht basierende Quantencomputer zu optimieren,
- die Umsetzung der OAM basierten Qubits,
- die kostengünstigere Gestaltung von Laserlicht basierende Quantencomputer.

3. Algorithmen

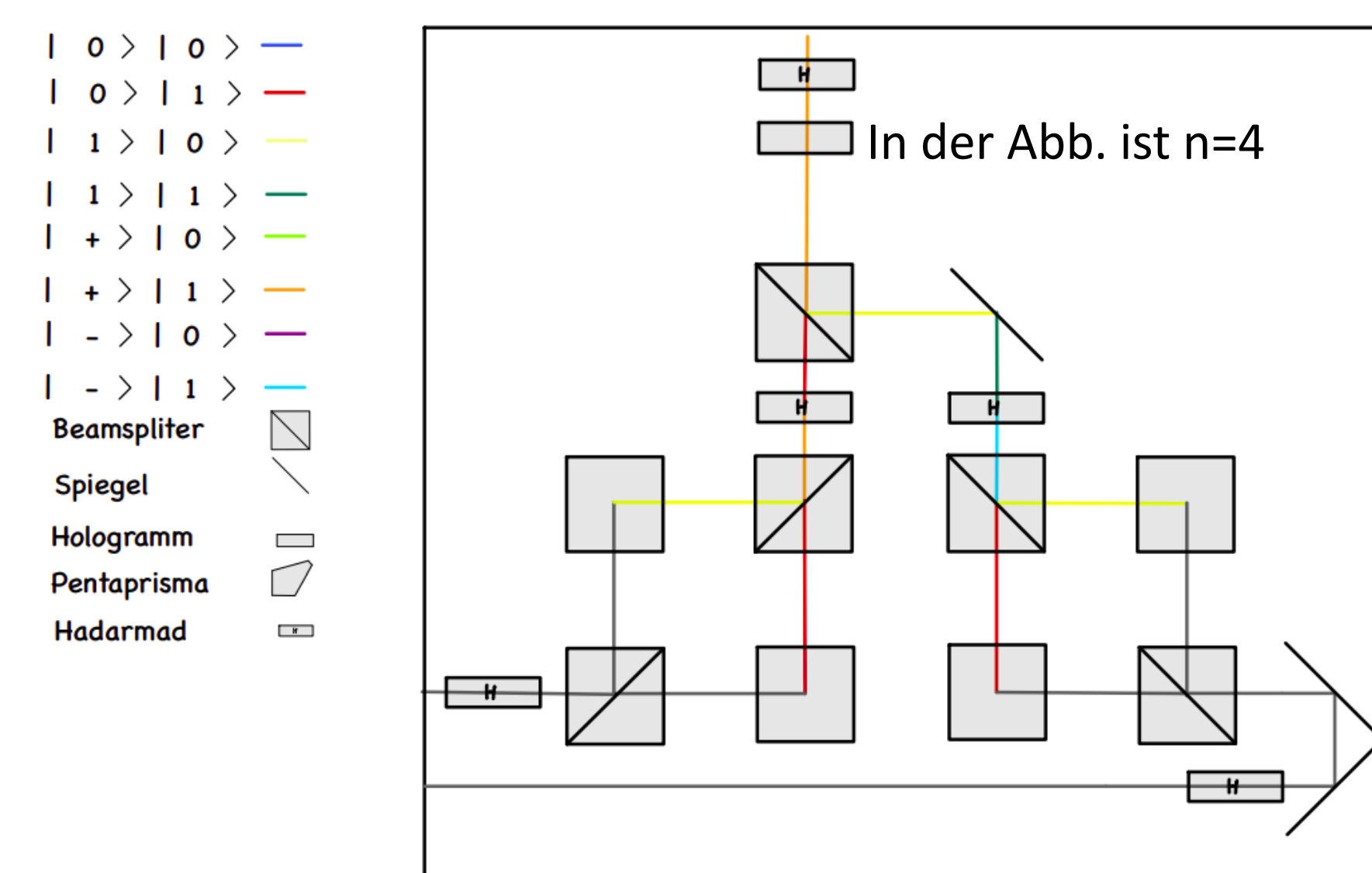
3.1. Deutsch-Algorithmus

Der Deutsch-Algorithmus ist ein Algorithmus, mit welchem wir die schnelle Verarbeitung des Quantencomputers vorführen. Ziel ist es festzustellen, ob eine binäre Funktion konstant (immer 0 oder immer 1) oder balanciert (gleich viele 0 und 1 im Ergebnis, wie z.B.: $f(x) = 0$ oder $f(x) = 1$) ist. Ein klassischer Computer benötigt zwei Abfragen ($f(x)$ und $f(y)$), um dies zu prüfen. Ein Quantencomputer löst das Problem mit nur einer Abfrage, indem er die Zustände $|0\rangle$ und $|1\rangle$ in Superposition versetzt, also $|+\rangle$, und so ausreichend Informationen gleichzeitig sammelt.



3.2. Deutsch-Jozsa-Algorithmus

Der Deutsch-Jozsa-Algorithmus ist eine Erweiterung des Deutsch-Algorithmus auf n Qubits (n stellt die Anzahl der Speicherplätze dar). Er hat dasselbe Ziel eine Funktion auf konstant oder balanciert zu überprüfen. Es handelt sich also um eine Verallgemeinerung des Problems. Ein klassischer Computer bräuhete im schlimmsten Fall $(n \div 2) + 1$ Funktionsauswertungen: also die Hälfte der möglichen Speicherplätze plus eins, um sicher festzustellen, ob die Funktion konstant oder balanciert ist. Ein Quantencomputer benötigt wieder nur eine Funktionsauswertung.

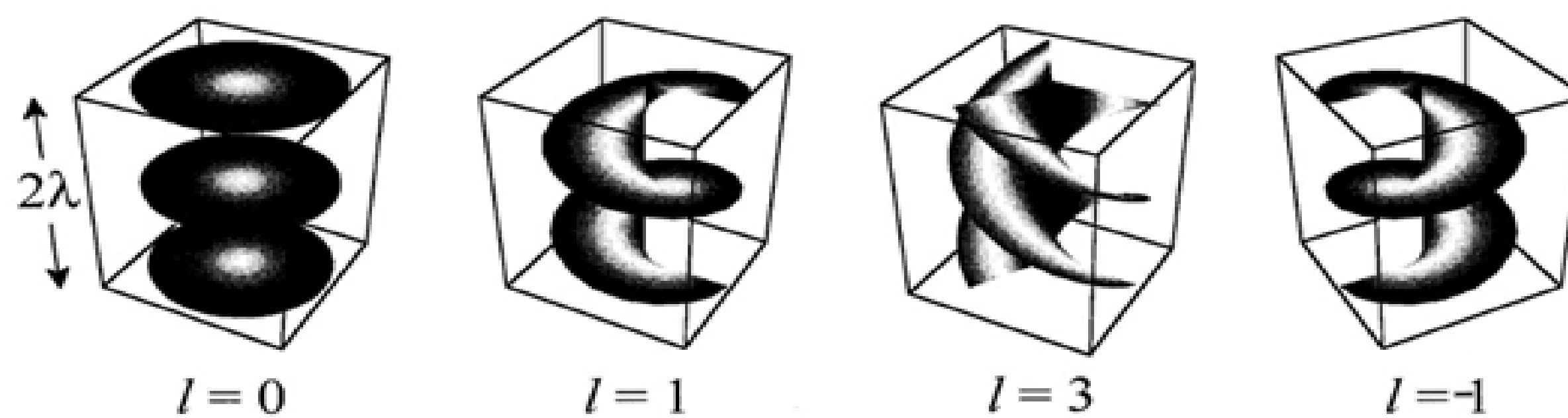


Quantencomputer, Algorithmen und das OAM



Der Beweis von Nicolas De RO, aus dem Jahr 2021, ermöglichte es uns, mithilfe von Linearer Algebra zu beweisen, dass unsere Gatter praktisch auf einem Quantencomputer mit Laserlicht jede unitäre Abbildung im Hilbertraum ausführen können. Der Hilbertraum ist ein Vektorraum, in dem Quantenzustände als Vektoren beschrieben werden. Dazu haben wir gezeigt, dass der Beweis auch für Laserlicht anwendbar ist.

5. OAM basierte Qubits



Die Abbildung zeigt Wellenfronten für verschiedene topologische Ladungen $l(0,1,3)$ in einer Strecke von 2λ . Wir verwenden ein Qubit mit den Zuständen $l=1$ und $l=-1$.

6. Umweltfreundlichkeit

Durch 3D Druckverfahren mit PLA, können wir Bauteile einfacher und umweltfreundlicher herstellen. Auch verbraucht unser Quantencomputer verhältnismäßig weniger Strom, da wir passive Gatter benutzen, was ihn wesentlich umweltfreundlicher als herkömmliche Computer macht, welche aktive Gatter benutzen.

7. Kostengünstigere Gestaltung

Wir haben auch an der kostengünstigeren Gestaltung des Quantencomputers gearbeitet. Durch die Möglichkeit 3D Drucker zu nutzen konnten wir Bauteile für wenige Cents herstellen, welche im Normalfall bis in den dreistelligen Euro Bereich reichen. Auch der niedrigere Stromverbrauch senkt Kosten, welche bei herkömmlichen Computern anfallen.

8. Ergebnis und Zielerreichung

Wir haben...

- Optische Quantencomputer umweltfreundlicher gestaltet,
- Algorithmen auf unseren Quantencomputer rechnen lassen,
- bewiesen, dass unser universelles Set auch auf optischen Quantencomputern mit Laserlicht laufen kann und dabei weiterhin universell ist,
- Multiplexing für Laserlicht basierende Quantencomputer entwickelt,
- gezeigt, dass wir OAM basierte Qubits mit Laserlicht umsetzen können,
- den Laserlicht basierende Quantencomputer kostengünstiger gestaltet.

8.1. Diskussion

Wie mit dem De Ro Beweis bewiesen, ist es uns möglich, Laserlicht für Quantencomputer zu nutzen. Einen großen Vorteil dabei bietet die Rechengeschwindigkeit und die Energieeffizienz, da Laserlicht viel weniger Energie beim Rechnen benötigt als elektronische Computer. Darüber hinaus haben wir experimentell den Deutsch-Algorithmus und das OAM (Orbital Angular Momentum) erfolgreich umgesetzt. Die Berechnung mit Quantengattern ist somit bei optischen Computern möglich, wobei der Einsatz von Laserlicht zum Rechnen bereit für praktische Anwendungen ist.

8.2. Ausblick

In der Zukunft kann, durch Schnittstellen zwischen Quantencomputern und herkömmlichen Computern (beispielsweise in einem PC), die Quantenmechanik genutzt werden wie zum Beispiel als Rechenkarte im Computer, also als QPU (Quantum Processing Unit). Die von uns erarbeiteten ökonomischen und ökologischen Vorteile können dazu beitragen, die Technologie künftig einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Literatur

- Wikipedia, Orbital angular momentum of light. Wikipedia, 2024, 30.12.2024,
- Padgett, Miles John / Allen, Les: The angular momentum of light: Optical spanners and the rotational frequency shift. Optical and Quantum Electronics, 1999, 30.12.2024,
- IBM Development Team, Q: Circuit Library. IBM, 2021, 17.01.2025,
- Roy, Pradosh: Quantum Logic Gates. Research Gate, 2020, 10.01.2025,
- Defi Ro, Nicolas: Universal Sets of Gates in Quantum Computing. Research Gate, 2021, 01.02.2025,
- Merritt Rick: What is a QPU? Nvidia, 2022, 31.01.2025.