

Sonderdruck



Neues von Quanta Claus: Xmas 4.0 goes Quantum Computing

Springer e&i 2021(8) a.22–28

computing überhaupt möglich ist. Wir argumentieren, dass hierbei an Stelle des aus der Literatur bekannten Quantenbits (Qubit) das generalisierte Konzept des Quantenkeks (Quokeks, engl.: Quantum Cookie bzw. Quookie) tritt, und demonstrieren dies anhand eines einfachen Quantenprozessors für das Wurzelziehen. Nachdem hierdurch die grundsätzliche Machbarkeit geklärt ist, wenden wir uns Fragen des Algorithmen-Designs zu, und zwar am Beispiel der effizienten Geschenkverteilung. Ein erster Ansatz zur Geschwindigkeitssteigerung mit Hilfe so genannter Quanta-Sprünge führt leider nicht zum Ziel, liefert jedoch wertvolle Impulse für die letztlich gefundene Lösung. Als Folgerung aus der hier erstmals vorgestellten so genannten Schärddingergleichung stellt sich nämlich heraus, dass die himmlische Lichtgeschwindigkeit deutlich höhere Werte als die irdische aufweisen kann, was für den Standardalgorithmus zur Teleportation eine signifikante Beschleunigung bedeutet. Der Beitrag schließt mit einer kritischen Würdigung des Erreichten und einem kurzen Ausblick.

Eine kurze Geschichte des Quantenkeks

Im Unterschied zum irdischen Quantencomputing, das auf dem Einsatz von so genannten Quantenbits basiert, verwenden wir in weihnachtlichem Kontext bevorzugt deren himmlisches Äquivalent, die Quantenkekse oder Quookies. Dabei

kann, ähnlich wie beim Qubit, auch ein Quokeks zwei Zustände $|0^*\rangle$ und $|1^*\rangle$ annehmen, und zwar hier wie dort sogar gleichzeitig². Sollte Ihnen das seltsam vorkommen, sind Sie nicht allein, aber Sie können getrost davon ausgehen, dass so etwas für den Himmel überhaupt kein Problem darstellt (und ja, wie inzwischen experimentell bestätigt, immer öfter sogar hier auf Erden funktioniert [5][6]). Ein solcher Zustand weihnachtlichen Genusses $|\psi^*\rangle = \alpha \cdot |0^*\rangle + \beta \cdot |1^*\rangle$ wird „Überkekung“ oder Superposition genannt, wobei α und β die Gewichte bezeichnen, mit denen $|0^*\rangle$ und $|1^*\rangle$ daran beteiligt sind. Qubits und Quokekse ähneln sich auch darin, dass sie jeweils am Schluss eines Rechenvorgangs (also fallweise Messen und/oder Essen) einen so genannten „wave collapse“ erleiden und sich damit superpositionstechnisch aus der physikalischen Realität verabschieden, vorher aber noch mit Wahrscheinlichkeit $|\alpha|^2$ eine $|0^*\rangle$ und mit Wahrscheinlichkeit $|\beta|^2$ eine $|1^*\rangle$ als Berechnungsergebnis liefern. Dabei wird übrigens lediglich ein Teil der ursprünglich im Quokeks vorhandenen Kalorien absorbiert, nämlich je nachdem entweder die zu $|0^*\rangle$ bzw. zu $|1^*\rangle$ gehörigen. Dies wird von der einschlägigen Fachliteratur bislang vollkommen übersehen (vgl. etwa [7]), ist aber gerade zur Weihnachtszeit von höchster Relevanz, kann doch auf diese Weise der Verzehr ausreichend vieler Quokekse de facto sogar zu einer Gewichtsreduktion führen und viele Neu-

jahrsvorsätze schlichtweg überflüssig machen!

Dabei können die Gewichte α und β allerdings nicht beliebig gewählt werden, vielmehr muss stets $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ gelten. Dies liegt daran, dass sich Wahrscheinlichkeiten immer zu 100 % aufsummieren, was in unserem Fall der Gesamtkalorienmenge entspricht, während man pro Experiment jeweils nur einen Anteil von $|\alpha|^2$ bzw. $|\beta|^2$ davon verzehren kann. Kennern mathematischer Feinheiten ist eine ähnliche Formel möglicherweise schon in anderem Kontext begegnet, sie beschreibt nämlich für reelles α, β nichts anderes als einen Kreis mit Radius 1. Dies erklärt auch, warum observable Kekse topologisch gesehen meist in runder Form (bzw. im komplexen Fall als Kugeln) auftreten. Allerdings konnte ein strenger Beweis dieses Zusammenhangs bislang noch nicht erbracht werden und ist aktuell Gegenstand weiterführender Studien.

Abschließend sei noch auf eine weitere Besonderheit hingewiesen: Das auf Erden besonders unverständliche No-Cloning-Theorem [6], demzufolge es prinzipiell unmöglich ist, Qubits zu copy-pasten (was für manche Studierende und auch Professoren eine ausgesprochen abschreckende Wirkung hat), verbietet im Himmel jegliche Serienproduktion von Süßigkeiten. Daher ist jedes Quokeks individuell herzustellen, und wir sollten die diesbezüglichen Bemühungen vieler backender Großmütter und -väter hier auf Erden auch unter diesem Gesichtspunkt stärker würdigen!

Der Quantenrechner – eine Erfindung aus Wien

Zusammengefasst haben also Qubits bzw. Quokekse vor allem zwei Eigenschaften: Sie sind rund, und sie gehen beim Berechnungsvorgang kaputt. Betrachtet man mit diesem Wissen die historische Entwicklung des Quantencomputing, stellt sich heraus, dass der erste Quantenprozessor keinesfalls erst im Jahre 2019 unter dem Namen „Sycamore“ entstanden sein kann, noch dazu von einer erst kurz zuvor alphabetisierten Truppe aus

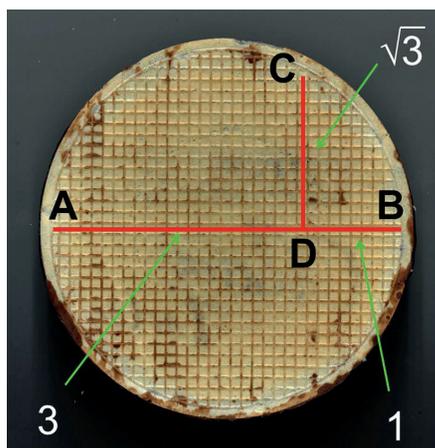


Abb. 2. Quokeks nach Pischinger: Originalverpackung (links) und User Interface (rechts)



Abb. 3. Erster jemals im Feld dokumentierter Quanta-Sprung vor dem Eingang zur Forschungsgruppe COSY (Sensengasse 6, 1090 Wien)

Mountain View, CA [8]. In der Tat wurden in Wien erste Qukeks-Prototypen schon ab 1849 entwickelt, und zwar von der Firma Pischinger im Rahmen einer Projektkollaboration mit der Wiener Zahnärztekammer. Ziel war seinerzeit, das Wurzelziehen in der österreichischen Bevölkerung populärer zu machen, wofür man auf Ideen des französischen Mathematikers Descartes zurückgriff [9] und den resultierenden Algorithmus in Quantokulinarischem Rechner-Code (QR-Code) implementierte. Aufgrund der niedrigen Herstellungspreise und des ungemein geschmackvoll gestalteten User Interfaces war der Pischinger'sche Qukeks sofort ein durchschlagender Erfolg; die Originalversion ist auch heute noch unter dem Handelsnamen „Oblaten-Torte“ problemlos und vakuumverpackt im gutsortierten Fachhandel erhältlich (Abb. 2).

Allerdings geriet angesichts allzu offensichtlicher lukullischer Vorzüge die ursprüngliche Funktionalität sehr schnell in Vergessenheit; sie wurde erst im Jahre 2019 im Rahmen informatik-archäologischer Studien des Erstautors wiederentdeckt und wird hier erstmals publiziert. Das Pischinger-Verfahren zum Ziehen der Wurzel aus einer beliebigen Zahl n funktioniert demnach wie folgt (Abb. 2 rechts): Zunächst ist der Rechner durch Verzehren der unteren Hälfte bis zum Kreisdurchmessers AB zu booten. Als Nächstes wird dieser Durchmesser mit Hilfe des integ-

rierten Koordinatensystems in $n+1$ gleiche Teile unterteilt. Am Teilungspunkt D knabbert man sich sodann orthogonal nach oben, bis man am Punkt C angekommen ist. Dann gilt es nur noch die Länge der Strecke DC zu ermitteln, und wir erhalten als Ergebnis die Quadratwurzel aus n .

Der Beweis für die Richtigkeit des Pischinger-Verfahrens ist trivial und bleibt den Lesern überlassen³. Abbildung 2 rechts veranschaulicht das Vorgehen für den Fall $n=3$. Wie durch Abzählen leicht zu ermitteln ist, ergibt die abschließende Messung in diesem Fall $14/8=1,75$, was dem exakten Ergebnis $1,73205\dots$ für alle praktischen Anwendungen mehr als ausreichend nahekommt. Dass sämtliche Ess- & Messvorgänge mit größtmöglicher Präzision auszuführen sind, muss an dieser Stelle nicht weiter betont werden. Natürlich kann die (M)essgenauigkeit (wie in der Physik üblich) durch Wiederholung des Experiments gesteigert werden, was zugleich die Notwendigkeit exzessiven Keksverzehrs zu Weihnachten wissenschaftlich rechtfertigt und so im Rahmen

geeigneter Citizen Science-Projekte eine hervorragende Perspektive für die Popularisierung des Quantencomputing in der breiten Bevölkerung darstellt. Wie nicht anders zu erwarten, ist danach allerdings der Rechner für weitere Rechenvorgänge nicht mehr zu gebrauchen, was eine direkte Folge des für Quantenprozessoren typischen Wellenkollapses darstellt.

Das ausgesprochen schmackhaft ausgefallene Design des User Interface wurde von den Autor/innen während der Corona-Quarantäne mehrfach experimentell verifiziert und wird derzeit im Rahmen einer intensiven Kollaboration mit Kollegen des Technikum Wien⁴ nochmals einer abschließenden Validierung unterzogen. Schon jetzt lässt sich allerdings sagen, dass sich das Pischinger-Verfahren für das Wurzelziehen reeller Zähne nicht wirklich eignet und daher zumindest für spezielle Zielgruppen von moderneren Methoden abgelöst wurde [10]. Auch im Fall reeller Zahlen sollte man heute wohl eher auf eine Weiterentwicklung zurückgreifen, die als k.u.k.-Auftragsforschung im Rahmen des Projekts SACHER (SAhnegekühl-

³ Tatsächlich genügt es hierfür, den Satz des Pythagoras auf die Dreiecke ACD und BCD anzuwenden und sich außerdem mit leichtem Grauen an die binomische Formel $(n+1)^2 = n^2 + 2n + 1$ zu erinnern – der Rest ergibt sich dann fast von alleine.

⁴ <https://www.technikum-wien.at>

⁵ Bei TEQUILA handelt es sich um ein am 17.12.2021 am Standort Sensengasse 6 eröffnetes inter-fakultäres Teaching-Labor zur Vermittlung von Grundkonzepten des Quantencomputing im Rahmen eines Praktikums. Weitere Infos und Kontakt: tequila@cs.univie.ac.at.

ter Cartesisch-Himmlischer Experimental-Rechner) entstand und seither unter dem etwas irreführenden Namen „Sacher-Torte“ bekannt ist.

Vom Quanta-Sprung zur Teleportation

Nachdem wir also die grundsätzliche Machbarkeit himmlischen Quantencomputings geklärt haben, wenden wir uns nun einer ganz konkreten Forschungsfrage zu, nämlich: Wie kann Quanta Claus die Verteilung der Weihnachtsgeschenke unter Zuhilfenahme von Quanteneffekten effizienter bewerkstelligen? Hierzu besteht ein erster naheliegender Ansatz darin, Quanta Claus selbst samt seinem Geschenksack unter Zuhilfenahme der bekannten Schrödingergleichung [6]

$$i\hbar\dot{\psi} = H\psi \quad (1)$$

in eine Materiewelle zu transformieren, die dann grundsätzlich an allen Orten im Universum gleichzeitig präsent sein könnte. Unsere diesbezüglichen Experimente scheiterten aber wiederholt an Dekohärenzproblemen, auf die wir später noch zurückkommen werden. Insgesamt erweist sich dieses Vorgehen im momentanen Stadium der Xmas 4.0-Forschung als nicht realisierbar.

Ein weiterer innovativer Vorschlag be-

ruht auf dem in der Literatur vielfach erwähnten Phänomen des „Quantensprungs“. Unsere Untersuchungen verfolgen hier einen strikt experimentellen Ansatz, anstatt sich wie [11] auf die theoretische Diskussion zu beschränken, ob es Quantensprünge überhaupt geben könne. Natürlich bedarf es im weihnachtlichen Kontext einiger Modifikationen des üblichen Settings, welche vom Zweitautor aber unter Mithilfe seines Geschenksacks problemlos erledigt werden konnten. Da er auch die umfangreichen empirischen Untersuchungen dazu durchführte, wird die neu entwickelte Methode zu seinen Ehren als „Quanta-Sprung“ bezeichnet.

Abbildung 3 zeigt Quanta Claus bei einem solchen kurz vor Betreten seines Büros in der Sensengasse 6. Die Weite des hier dokumentierten Quanta-Sprungs betrug $\Delta=0,38$ m; eine anschließende Langzeitmessung ergab zudem, dass in einem Zeitraum von 4,83 Sekunden insgesamt sieben Quanta-Sprünge absolviert werden konnten, was einer Frequenz von $\nu=1,449$ Hz entspricht. Insgesamt erhalten wir so eine Durchschnittsgeschwindigkeit von $v_{\text{huepft}}=\nu\cdot\Delta=0,551$ m/s. Zum Vergleich: die übliche Geschwindigkeit eines/einer einigermaßen nüchternen Wieners/Wienerin auf dem Weg zum Weihnachtsmarkt liegt schätzungshalber bei $v_{\text{nuecht}}=3,5$ km/h $=0,972$ m/s, also bereits deutlich höher,

während Ausnahmereisereisenden wie der Weltrekordsprinter Usain Bolt sogar auf $v_{\text{sprint}}=10,438$ m/s kommen. Darauf basierend können wir es als gesichert ausschließen, dass sich Quanta-Sprünge als probates Mittel zur Geschenkeverteilung durchsetzen werden.

Somit kommt als einziger vielversprechender Quantencomputing-Ansatz nur mehr ein modifizierter Teleportationsalgorithmus [5] in Frage, bei dem in unserem Fall wie folgt vorzugehen ist: Zunächst sind für jedes Geschenk zwei Qukekse mittels eines Hadamardgatters plus nachfolgendem CNOT miteinander zu verschränken (was auf den ersten Blick wesentlich dramatischer klingt als es ist, insbesondere steht diese Schaltung jederzeit im Rahmen des Teaching Quantum Informatics Lab TEQUILA der Universität Wien für die Feldforschung zur Verfügung⁵. Das eine Qukekse wird danach auf dem üblichen Postweg zu den potentiellen Empfängern verbracht, dies kann bereits in der Vorweihnachtszeit in aller Ruhe geschehen. Für die Bescherung ist dann lediglich die Messung des gemeinsamen Zustandes von Weihnachtsmann plus Geschenk und dem anderen Qukekse sowie die Übertragung der beiden resultierenden klassischen Ergebnisbits notwendig, z. B. mittels eines kurzen Telefonats. Auf diese Weise erfolgt die gewünschte Teleportation, wobei sich beide Qukekse danach allerdings in nicht mehr verzehrfähigem Zustand befinden (über den Zustand des Weihnachtsmanns liegen derzeit noch keine gesicherten Erkenntnisse vor). Abbildung 4 illustriert Algorithmus und zugehörige Quantengatterschaltung, die mit Hilfe von TEQUILA-Hardware implementiert wurde.

Einen interessanten Ansatzpunkt für die Effizienzsteigerung dieses Verfahrens stellt insbesondere die Übertragungsgeschwindigkeit der beiden klassischen Bits dar, welche auf Erden unglücklicherweise von Einstein im Jahre 1905 durch die Lichtgeschwindigkeit i. H. v. 300.000 km/s begrenzt wurde [12]. Zwar gab es immer wieder Versuche, diese Grenze zu überwinden, allerdings bislang nur mit bescheidenem Erfolg. So gelang es

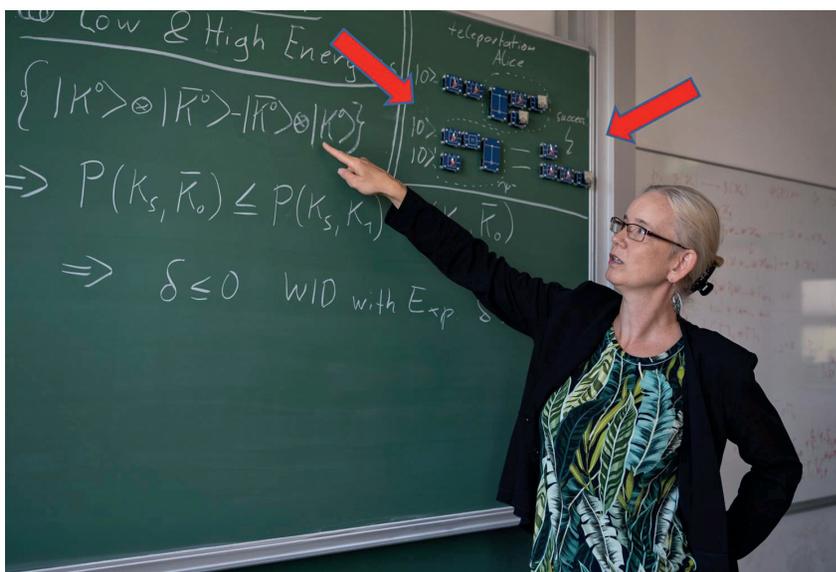


Abb. 4. Mitautorin bei der Erläuterung der Quantenteleportation; die zugehörige Implementierung befindet sich zwischen den roten Pfeilen (Foto: Luiza Puju)

etwa im Jahr 2000 einem Team aus Princeton, die Einstein'sche Grenze um ca. 1/300 zu übertreffen [13], was für unser Problem allerdings keinerlei praktische Bedeutung hat. Im Gegensatz dazu sind die sich beim Quantencomputing unter himmlischen Bedingungen hierfür ergebenden Möglichkeiten als ungleich höher einzuschätzen.

Wie groß ist die himmlische Lichtgeschwindigkeit?

Wie lässt sich also die himmlische Lichtgeschwindigkeit als quantisierte Observable bestimmen? Zunächst einmal handelt es sich hierbei um eine so genannte „imaginäre Lichtgeschwindigkeit“ $c_{im}=i\psi^*$, wobei $i=\sqrt{-1}$ die von den komplexen Zahlen bekannte imaginäre Einheit ist. Wie alle imaginären Größen ist c_{im} auf Erden nicht so einfach messbar, wir konnten aber immerhin zeigen, dass sie sich aus der bereits oben eingeführten Schrödingergleichung (1) ableiten lässt. Dabei wurde ein enger Zusammenhang zwischen Schrödinger-Gleichung und Lichtgeschwindigkeit an der Universität Wien schon länger postuliert (auch wenn erst jetzt der empirische Nachweis gelang); dies lässt sich unschwer dem prominenten Platz entnehmen, den Schrödinger & Gleichung im Lichthof des Hauptgebäudes einnehmen (vgl. Abb. 5 links).

Der hier vorgestellte revolutionäre Zugang beruht auf dem Effekt von „Schrödingers Katze“ [14], also der Eigenschaft von Quantensystemen, ihre Besonderheiten nur zu entfalten, solange sie nicht beobachtet werden. Anders ausgedrückt



Abb. 5. Zwei herausragende Forscherpersönlichkeiten: ao. Univ.-Prof. Schrödinger als Plastik (links) und Bergbaron von Schärldinger in Plastik (rechts)

lautet die Frage also: Wie groß ist die Lichtgeschwindigkeit, wenn niemand hinschaut? Vorweg sei verraten: Die Antwort fällt überraschend aus!

Betrachten wir aber zunächst einmal den irdischen Fall, also die Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum ($H=0$), der sich als Grenzfall der Schrödingergleichung herausstellt. Wir brauchen nur $H=0$ in (1) einsetzen und die entstehende Differentialgleichung nach Kürzung durch $i\hbar$ direkt integrieren, um

$$i\hbar\dot{\psi} = 0 \Rightarrow \psi = c = \text{const.} \quad (2)$$

mit dem bekannten Wert $c=299.792.458$ m/s als Lösung zu erhalten.

Für den Fall $H \neq 0$ ergibt sich dagegen aus (1) nach Division durch H für die himmlische Lichtgeschwindigkeit ψ^* die Gleichung

$$\hbar^* \psi^* = \psi^* \quad (3)$$

mit $\hbar^* = i\hbar/H$ als himmlischem Wirkungsquantum. Dies entspricht im Grunde einer Transformation der ursprünglich physikalischen Dimension in ein Caelestialkoordinatensystem, wie es paradigmatisch die in [2] eingeführten Vanillekipferlkoordinaten darstellen.

Im Allgemeinen ist die Lösung der Differentialgleichung (3) nicht-trivial, was aber in der Quantenphysik mehr oder weniger den Regelfall darstellt. Wir haben aber insofern Glück, als sich durch Einsetzen und nachfolgendes Differenzieren leicht überprüfen lässt, dass

$$\psi^* = \frac{c}{H} (\cos(-it/\hbar^*) + i \sin(-it/\hbar^*)) \quad (4)$$

eine Lösung von (3) darstellt. Insgesamt erweist sich also die himmlische Lichtgeschwindigkeit im Wesentlichen als komplexe Schwingung mit Amplitude c/H . Wenn nun das so genannte Hamiltonian H (das hier wie auch schon in der Schrödingergleichung die Gesamtenergie des Systems repräsentiert) kleiner als 1 ist, so lässt sich aus (4) leicht ablesen, dass der maximale Betrag der himmlischen Lichtgeschwindigkeit $c^* = |\psi^*|_{\max} = c/H$ beträgt (denn Sinus- bzw. Kosinusfunktionen sind bekanntlich vom Betrag her immer kleiner oder gleich 1) und mithin deutlich größer als die irdische Lichtgeschwindigkeit werden kann.



Abb. 6. Beispiel für eine (in diesem Fall in der Küche des Erstautors) stehende Mikrowelle

Ein erster experimenteller Nachweis dieses Sachverhalts gelang allerdings erst kürzlich, und zwar mit Hilfe eines in einer Mikrowelle, Marke „Siemens Inno-Wave“, unter Quantenbedingungen bei einer Frequenz von $\nu=2.450$ MHz angeschmolzenen Bergbarons von Schärddinger (Fettgehalt $H=45$ % i.T.). Hierbei wurde penibel darauf geachtet, dass die Durchführung des Versuchs weder gegen die UN-Charta der Menschenrechte noch gegen das österreichische Adelsaufhebungsgesetz verstieß, insbesondere hatte daher bei der Namensgebung die Verwendung des Adelsprädikats „von“ zu unterbleiben. Wir halten es aber jedenfalls für angebracht, Gleichung (3) zu Ehren des im Namen der Wissenschaft allzu früh Dahingeschmolzenen wenigstens als „Schärddingergleichung“ zu bezeichnen.

Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit mittels mikrowellenbasierter Schmelzvorgänge ist als Verfahren lege artis etabliert und wird – typischerweise in der Version mit Vollmilchschokolade – vor allem im Rahmen von Experimentalphysikvorlesungen und Kindergeburtstagen regelmäßig validiert. Es beruht auf der Vermessung stehender Mikrowellen mit Knoten im Abstand von $\lambda/2$, also der halben Wellenlänge einer Mikrowelle, welche zur Bildung charakteristischer Muster auf der Oberfläche des Testmaterials führen (vgl. Abb. 7). Da sich Mikrowellen wie alle elektromagnetischen Wellen mit Lichtgeschwindigkeit bewegen und sich diese anhand der Formel $c=\lambda \cdot \nu$ als Produkt aus Wellenlänge und Frequenz ergibt, genügt es, den Abstand dieser Muster zu bestimmen, um daraus die Lichtgeschwindigkeit zu berechnen [15].

Bei der Durchführung des Versuchs ist unbedingt zu berücksichtigen, dass sich Quanteneffekte hier nur zeigen können, wenn man nicht hinschaut. Analog zu Schrödingers Katze bezeichnen wir daher unseren Versuchsaufbau kurz als „Schärddingers Käse“ und achten strikt darauf, während des gesamten Experiments keinesfalls einen Blick in das Innere der Mikrowelle zu werfen. Selbstverständlich kann man zu Kontrollzwecken einzelne Messungen auch unter Beobachtung

durchführen, wird dabei aber stets nur die irdische Lichtgeschwindigkeit, also c , erhalten.

Die Abbildungen 6 und 7 dokumentieren den erstmaligen Nachweis einer imaginären Lichtgeschwindigkeit, welcher mit dem beschriebenen Verfahren am 11.11.2021 gelang. Das Schmelzmuster im Abstand von $12,5$ cm lässt sich in Abb. 7 deutlich erkennen und entspricht wie ausgeführt $\lambda/2$, also der halben Wellenlänge der Mikrowelle. Somit errechnet sich der Betrag der hier vorliegenden imaginären Lichtgeschwindigkeit zu

$$\psi_{im} = \lambda \cdot \nu = 2 \cdot \lambda/2 \cdot \nu = 2 \cdot 0.125 \text{ m} \cdot 2450 \text{ MHz} = 612.500.000 \text{ m/s} \quad (5)$$



Abb. 7. Erster experimenteller Nachweis von c_{im} mit der „Schärddinger-Käse“-Methode.

Dies stellt mehr als das Doppelte des irdischen Wertes aus Gleichung (2) dar und stimmt sehr gut mit dem theoretischen Wert überein, der sich aus Gleichung (4) durch Einsetzen von $H=0,45$ zu $\psi^*_{max}=c/H=666.205.462 \text{ m/s}$ ergibt (die Abweichung von lediglich 8,1 % kann im Rahmen der hier überhaupt möglichen Messgenauigkeit als geradezu sensationell niedrig bezeichnet werden).

Kritische Würdigung

Bei aller berechtigten Freude über den hier beschriebenen wissenschaftlichen Durchbruch sei indes nicht verhohlen, dass die praktische Anwendung der Schärddingergleichung zu Zwecken der Teleportation im Quantencomputing nicht unproblematisch ist. Dies lässt sich insbesondere am bereits erwähnten verstärkten Auftreten von Dekohärenzphänomenen festma-

chen, wie sie dem Zweitautor leider mehrfach widerfahren. Dekohärenz beschreibt in diesem Zusammenhang die nur unzureichende Addition von quantenmechanischen Wellenamplituden [16], die im Extremfall zu deutlichen Veränderungen am Erscheinungsbild teleportierter Versuchsgegenstände führen können. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich, betrifft dies im Fall von Quanta Claus offenbar vorwiegend die Gesichtsregion und lässt sich wohl auf die inzwischen nahezu ununterbrochene Beobachtung zurückführen, der wir durch unsere Smartphones im Sinne

von KI (Kontroll-Instrumenten) ausgesetzt sind (Stichwort: Facial Recognition). Hierdurch wird nämlich nicht nur unser Konsumverhalten nachhaltig beeinflusst, sondern de facto sämtliche irdischen und auch himmlischen Begebenheiten. Wie aus Abbildung 8 unmissverständlich hervorgeht, kann dies unangenehme Effekte haben, auch wenn sich diese in unserem Fall glücklicherweise als reversibel herausstellten. Dennoch ist auf Erden derzeit von einem nicht wissenschaftlich begleiteten Einsatz der Teleportation strikt abzuraten!

Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag war zukunftsweisenden Anwendungen des Quantencomputing im himmlischen Kontext gewidmet. Basierend auf einer erfolgreichen Machbarkeitsstudie wurde dabei der Schwerpunkt



Abb. 8. Quanta Claus im kohärenten Originalzustand (links) und mit teleportationsbedingten Dekohärenzproblemen (Mitte, rechts)

auf mögliche Effizienzsteigerungen im Bereich Geschenkeverteilung gelegt, welche dadurch in die unmittelbare Nähe praktischer Realisierung gerückt sind. Darüber hinaus eröffnet insbesondere die Möglichkeit massiv superluminaler Informationsübertragung völlig neuartige Anwendungsbereiche von kaum zu überschätzendem Potential. Weiterhin steht nunmehr mit TEQUILA ein State-of-the-Art-Lab zur Verfügung, in dem die Kräfte mehrerer Fakultäten zu interdisziplinärer Forschung gebündelt werden können, die diesen Namen verdient. Alles in allem erhält dadurch die Xmas 4.0-Forschung beste Voraussetzungen dafür, auch in Zukunft ihr segensreiches Wirken zu Rum und Ehre der Universität Wien und der beteiligten Fakultäten fortsetzen zu können. In diesem Sinne: ein Quantum Prost, frohe Weihnachten und alles Gute für das kommende Jahr!

Danksagung

Die Autor/innen danken Gerd Krizek (Technikum Wien), Werner Gruber (Planetarium der Stadt Wien) und S. T. Petrus (Chief Access Control Officer, Paradise Inc.) sowie Prof. Paulus und Prof. Kaluza (Universität Jena) für vielfältige Anregungen, der Forschungsgruppe COSY und der Forschungsgruppe Quantumpar-

telegroup für die umfassende Unterstützung bei der Durchführung der beschriebenen Forschungsarbeiten sowie dem Rektorat der Universität Wien für die Zuerkennung des UNIVIE Teaching Awards 2020 an den Erstautor, ohne den die Einrichtung von TEQUILA nicht möglich gewesen wäre.

Dieser Beitrag ist dem Andenken an Prof. Reinhard Winkler (1964-2021) gewidmet, dem Kollegen und Freund, der so viel dafür getan hat, uns Sterblichen die Angst vor der Mathematik zu nehmen, bevor er vor kurzem viel zu früh von uns gegangen ist. Vielleicht hätte ihm dieser Artikel gefallen.

Bibliographie

- [1] P. Reichl, S. Claus: "Oh Tanenbaum, oh Tanenbaum...": Technical Foundations of Xmas 4.0 Research. arXiv:1712.06259, December 2017.
- [2] P. Reichl, W. Gruber, S. Claus: Himmlische Differentialgleichungen. e&i (Springer), 12/2018.
- [3] L. Nimmervoll: Schöne Bescherung an der Uni Wien: Santa Claus in Quarantäne! Online-Standard, 16. Dezember 2020. <https://www.derstandard.at/story/2000122538220/schoene-bescherung-an-der-uni-wien-santa-claus-in-quarantaene> (zuletzt abgerufen: 30.10.2021).
- [4] H. Fry, T. Oléron Evans: The Undisputable Existence of Santa Claus. Penguin Random House, London, 2016.
- [5] M. Homeister: Quantencomputing verstehen. 5. Auflage, Springer, 2018.
- [6] M. Nielsen, I. Chuang: Quantum Computing and Quantum Information. Cambridge University Press, 2016.

- [7] P. Kwiat, L. Hardy: The Mystery of the Quantum Cakes. American Journal of Physics, vol. 68 no. 33 (2000), doi: 10.1119/1.19369.
- [8] W. Oliver: Quantum computing takes flight. Nature, 23.10.2019.
- [9] R. Descartes: Discours de la Méthode (Anhang 3). Paris, 1637.
- [10] L. Milella: Auf den Zahn gefühlt! Sinn und Zweck der Dentalbehandlung beim Hund. Online: https://tierarztpraxisvanloosen.de/Docs/Parodontalerkrankungen_Hund.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2021).
- [11] E. Schrödinger: Are there quantum jumps? British Journal for the Philosophy of Science, Band III, Nr. 10, 1. August 1952, S. 109–123, und Band III, Nr. 11, November 1952, S. 233–242.
- [12] A. Einstein: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik und Chemie, Jg. 17 (1905), S. 891–921.
- [13] L. J. Wang, A. Kuzmich, A. Dogariu: Gain-assisted superluminal light propagation. Nature, Band 406, S. 277–279, 20.07.2000.
- [14] E. Schrödinger: Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. In: Naturwissenschaften (Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte), Bd. 23, Berlin (Springer), 1935.
- [15] A. Jannach: Experimente mit der Mikrowelle. Diplomarbeit, Institut für Experimentalphysik, Karl-Franzens-Universität Graz, 2018.
- [16] B. C. Hiesmayr: A Generalized Bell Inequality and Decoherence for the K 0 K 0. Foundations of Physics Letters 14(3):231-245, 2001.

Autor/innen

Universität Wien, Team TEQUILA, Forschungsgruppe Cooperative Systems & Quantum Particle Group, Univ.-Prof. Dipl.-Math. Dr. Peter Reichl, Sensengasse 6, 1090 Wien, Telefon +43 (1) 4277-794 10, E-Mail: peter.reichl@univie.ac.at, santa.claus@cs.univie.ac.at