

Simulation von Quantencomputern und ihren Grundlagen Ausarbeitung

Quantum Chess

von

Lucas Weißmann (5181908)

im Februar 2022

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Dominikus Herzberg

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Design Ziele von Quantenschach	2
2.1	Superposition	2
2.2	Interferenz	3
2.3	Verschränkung	3
3	Quantenschach Regeln	4
4	Umsetzung	6
5	Fazit	8
	Literaturverzeichnis	9

1 Einleitung

Die Quantenphysik weist eine erhebliche Komplexität auf und stellt das, was wir über die Wirklichkeit zu wissen glauben, in Frage. Ihr kontraintuitives Verhalten stellt selbst Experten vor Herausforderungen. Quantenspiele bieten eine Möglichkeit, das ungewöhnliche Verhalten der Quantenwelt zu erfahren, ohne sich in komplexe Mathematik einzubringen.

Das Ziel dieses Projekts besteht darin, die Quantenwelt mit Schach zu verbinden. Es gab bereits mehrere Bemühungen, Quantenspiele zu entwickeln, darunter auch Quantenschach. Dieses Projekt basiert auf dem Papier „Quantum Chess: Developing a Mathematical Framework and Design Methodology for Creating Quantum Games“ von Christopher Cantwell [1] und es wird empfohlen, dieses Papier zu lesen, um ein tieferes Verständnis des Themas zu erlangen.

Zunächst werden die Designziele vorgestellt, die erfüllt werden müssen, um die Welt der Quanten in einem Schachspiel korrekt widerzuspiegeln. Dies umfasst die wichtigsten Phänomene, die beim Verhalten von Quanten beobachtet werden können. Daraufhin wird das Design und das Regelwerk von Quantenschach diskutiert, das den Rahmen für die Entwicklung und Umsetzung des Projekts bildet. Abschließend wird ein Fazit gezogen, in dem bewertet wird, ob die Ziele erreicht wurden und ob das Projekt das Ziel einer spielerischen Eintauchung in die Quantenwelt erfüllt.

Dieses Projekt wurde im Rahmen des Moduls „Simulation von Quantencomputern und ihren Grundlagen“ von Prof. Dr.-Ing. Dominikus Herzberg im Wintersemester 2022/2023 entwickelt.

2 Design Ziele von Quantenschach

Quanten-Schach ist eine innovative Art von Schach, die das Verständnis der Quantenwelt vermitteln soll. Diese Welt ist sehr komplex und verhält sich auf unerwartete Weise, die es zu integrieren gilt. Im Gegensatz zu klassischem Schach, bei dem die Regeln und Verhaltensweisen der Spielfiguren klar definiert sind, zeichnet sich Quantenschach durch eine unvorhersehbare, quantenmechanische Natur aus. Daher ist das Designziel von Quantenschach, die wesentlichsten Phänomene der Quantenwelt zu reflektieren, um eine spielerische Immersion zu ermöglichen.

2.1 Superposition

Superposition beschreibt einen wesentlichen Aspekt der Quantenphysik, bei dem ein quantenmechanisches System gleichzeitig mehrere Zustände haben kann, bis es beobachtet wird. Dieser Effekt ist auf den wave-particle dualism zurückzuführen, bei dem Teilchen sowohl als Welle als auch als Teilchen behandelt werden können. In Quantenschach kann dies dargestellt werden, indem eine Schachfigur an mehreren Orten gleichzeitig existieren kann, bis sie beobachtet wird.

2.2 Interferenz

Interferenz beschreibt einen weiteren wesentlichen Aspekt der Quantenphysik, bei dem die Wellen eines quantenmechanischen Systems sich gegenseitig beeinflussen können. Diesen Effekt konnte man im Doppelspaltexperiment beobachten, wo Photonen sich gegenseitig beeinflussen. In Quantenschach kann dies dargestellt werden, indem Schachfiguren ihre Bewegungen gegenseitig beeinflussen oder blockieren können.

2.3 Verschränkung

Verschränkung beschreibt einen Zustand, bei dem zwei oder mehr Teilchen eine enge Beziehung haben, die sich auf ihr Verhalten auswirkt. In Quantenschach kann dies dargestellt werden, indem das Verhalten einer Schachfigur durch eine andere Figur beeinflusst wird, auch wenn sie getrennt sind.

3 Quantenschach Regeln

Bevor man mit der Entwicklung von Quantenschach beginnt, müssen die Regeln festgelegt werden, um eine solide Grundlage zu schaffen. Die Regeln des klassischen Schachs werden durch weitere Regeln ergänzt, die sich auf die Bewegung und den Zustand einer Figur beziehen. Diese Regeln basieren auf den Regeln der Quantum Chess Docs von Quantum Realm Games [2].

Bewegung: Eine Schachfigur kann über die klassischen Schachzüge hinaus auch zwei weitere Arten von Zügen ausführen, nämlich:

- Split Move: Eine Figur kann in einem Zug zwei Ziele auf einmal auswählen (beide Ziele müssen legale Züge sein). Ein Split Move darf jedoch nicht verwendet werden, um eine gegnerische Figur zu schlagen.
- Merge Move: Zwei gespaltene Figuren können in einem Zug zu einer einzigen Figur verschmolzen werden. Hierfür müssen beide Figuren ein gemeinsames Zielfeld ansteuern können.

Gespaltene Figuren: Nach einem Split Move ist eine Figur gespalten und hat eine 50% Chance, an beiden spezifizierten Zielorten zu existieren. Dies erfordert jedoch einige spezielle Regeln:

- Gespaltene Figuren können gegnerische Figuren schlagen (aber erst nachdem sie bereits gespalten wurden).
- Gespaltene Figuren können selbst geschlagen werden.

- Es ist nicht erlaubt, gespaltene Figuren erneut zu spalten.

Zustand einer Figur: Der Zustand einer bleibt unsicher bis eine Messung erfolgt. Diese Messung ist ein zufälliger Prozess, welcher mit einer 50/50 Chance entscheidet an welcher Stelle eine Figur existiert. Eine Messung kann in den folgenden Fällen eintreten:

- Eine gespaltene Figur versucht, eine andere Figur zu schlagen.
- Ein gespalter König interagiert mit einer anderen Figur.

Sonstige Regeln

- Es gibt kein Schach oder Schachmatt, das Spiel endet, wenn der König geschlagen wird.
- Es gibt keine Regeln für „En Passant“, „Rochade“ oder „Umwandlung“, für die Einfachheit.

4 Umsetzung

Das Frontend für die Schach-App wurde mit vue.js entwickelt und beinhaltet nur eine einzige Komponente namens „ChessBoard.vue“, welche die grafische Benutzeroberfläche implementiert. Das Backend wurde in TypeScript geschrieben und verfolgt einen objektorientierten Ansatz. Die Klassen sind so kurz wie möglich gehalten, um Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Dabei ist folgende Struktur entstanden:

Chess Klasse: Diese Klasse ist der Haupteinstiegspunkt und dient hauptsächlich dazu, Fehlerchecks durchzuführen, bevor Methoden wie die möglichen Bewegungen einer Figur oder das Bewegen einer Figur ausgeführt werden. Darüber hinaus enthält die Klasse Variablen für das Spielbrett, den aktuellen Spieler und ob das Spiel beendet ist, um diese Überprüfungen durchzuführen.

Board Klasse: Jedes Schachspiel hat ein Brett, das aus einem Array von 64 Kacheln besteht, die entweder mit Figuren belegt oder leer sind. Die einzige Methode ist „resetBoard“, die das Spiel in den Ausgangszustand zurückbringt.

Piece Klasse: Die Oberklasse für alle Figuren. Eine Figur enthält wichtige Informationen wie Farbe, Position, Wahrscheinlichkeit und Verbindungen (bei einem Split). Die Piece-Klasse enthält auch Methoden für den klassischen Schachzug, dem Split-Move und dem Merge-Move. Schließlich gibt es noch eine „measure“-Methode, die eine Messung auf eine gespaltene Figur ausführen und eine der

beiden Figuren vom Spielbrett entfernen kann.

Es gibt außerdem eine abstrakte Methode „possibleMoves“, die für jede Figurart unterschiedlich implementiert wird. Daher gibt es noch Unterklassen für alle Arten, welche die Klasse „Piece“ erweitern.

Ergebnis: Das Ergebnis 4.1 der Umsetzung von Quantum Chess ist eine simple Nutzeroberfläche, die dem klassischen Schachspiel ähnelt. Es enthält Buttons für Split Move und Merge Move und unter jeder Figur befindet sich eine lila Anzeige, die die Wahrscheinlichkeit einer Figur an ihrer jeweiligen Position anzeigt.

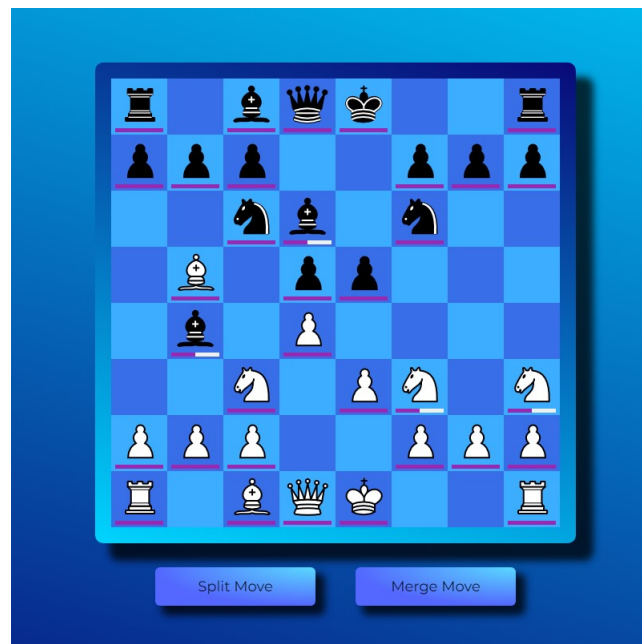


Abbildung 4.1: Quantenschach Spiel

5 Fazit

In diesem Projekt wurde ein Schachspiel mit quantenphysikalischen Konzepten wie Superposition, Interferenz und Verschränkung implementiert. Dies wurde durch die Umsetzung von Split-Moves und Merge-Moves erreicht. Das Ziel war es, die Konzepte der quantenphysikalischen Welt auf das Schachspiel zu übertragen.

Die Superposition zeigt sich durch den Einsatz von Split-Moves, während Interferenz durch den Einsatz mehrerer Split-Moves verschiedener Figuren entsteht und eine Wahrscheinlichkeitsverteilung bewirkt. Die Verschränkung wird durch das Einnahmen eines gegnerischen Stücks erreicht, was zu einer miteinander verschränkten Zustand mehrerer Figuren führt. Die mathematischen Beweise für Interferenz und Verschränkung sind in dem Papier von Christopher Cantwell nachzulesen [1].

Trotzdem gibt es noch Raum für Verbesserungen. Eine Einschränkung besteht darin, dass die Messung derzeit deterministisch ist, was bedeutet, dass das Spiel vorhersagbar ist. Dies ist ein wichtiger Faktor, der in Zukunft angegangen werden sollte. Darüber hinaus gibt es auch noch einige Bugs, die behoben werden müssen.

Das Projekt, quantenphysikalische Konzepte in ein Schachspiel zu integrieren, stellte sich als Herausforderung dar. Um die beschränkten Ressourcen eines Schachbretts auszugleichen, mussten einige Konzepte eingeschränkt werden, wie beispielsweise das Limit auf eine begrenzte Anzahl von Spaltungen pro Figur. Trotz dieser Herausforderungen kann das Projekt als erfolgreicher Versuch angesehen werden, eine neue Art des Schachspielens zu schaffen und quantenphysikalische Konzepte in ein realistisches Spiel zu integrieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Christopher Cantwell, *Quantum Chess: Developing a Mathematical Framework and Design Methodology for Creating Quantum Games*, <https://arxiv.org/pdf/1906.05836.pdf>, 2019.
- [2] Quantum Realm Games, *Quantum Chess Documentation*, <https://quantumchess.net/docs/>, 2020