



GRESELIUS GYMNASIUM

JAHRGANG 12

SEMINARFACH ASTRONOMIE

HERR RIEMER

Quantenkosmos

-

Wie können wir das Universum mit der
Quantenphysik erklären?

MANUEL SCHLAAK

Abgabetermin: 14. März 2023

13. März 2023, Bramsche

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Grundlagen der Quantenphysik	3
2.1	Allgemeines	3
2.2	Superposition	4
2.3	Teilchendualismus	5
3	Quantenkosmologie	7
3.1	Quantengravitation	8
3.1.1	Intention	8
3.1.2	Inkompatibilität	10
3.2	verschiedene Theorien	13
3.2.1	Stringtheorie	14
3.3	Multiversum	15
4	Zusammenfassung mit Ausblick	18
5	Anhang	19
5.1	Quellenverweise	19
5.2	Abbildungsverzeichnis	24
5.3	Erklärungen	25
5.3.1	Selbstständigkeitserklärung	25
5.3.2	Veröffentlichungserklärung	25

1 Einleitung

Viele Wissenschaftler wie auch damals Stephen Hawking gehen davon aus, dass die Kosmologie in einigen Situationen an ihre Grenzen stößt ([K]). Damit Fragen des Kosmos durch eine neue Sichtweise erklärt werden können, wird deshalb versucht, die Konzepte der Quantenphysik auf das Universum anzuwenden. Im Rahmen dieser Seminararbeit werde ich auf die wichtigsten Theorien dieser sogenannten Quantenkosmologie eingehen. Ziel dieser Ausarbeitung soll es sein, das Universum mithilfe der aktuellen (quanten)wissenschaftlichen Ergebnissen besser zu verstehen und den Leser zu einer weiteren Beschäftigung mit dem Thema anzuregen.

Zur Methode lässt sich sagen, dass durch den theoretischen Umfang der Quantenkosmologie, eigene praktische Versuche so gut wie gar nicht durchgeführt werden können. So muss man sich auf seriöse Quellen der Wissenschaft beziehen und sie in dieser Arbeit verknüpfen. Durch entsprechende Fachliteratur hatte ich erstmal eine solide Basis solcher Quellen. Diese mussten auch erstmal sortiert und verstanden werden und an einigen Stellen durch andere Internetquellen ergänzt werden. Eine weitere Herausforderung bestand in der intensiven Einarbeitung in LaTeX, da ich vorher noch nicht mit dem Programm gearbeitet hatte und das Grundprinzip erstmal verstehen musste.

Zuerst werde ich die Basis für meine Facharbeit legen, indem ich auf die Grundlagen der Quantenphysik (Kapitel 2) eingehe. Anschließend fahre ich mit der Quantenkosmologie (Kapitel 3) fort. Dazu gehören die Quantengravitation (Kapitel 3.1) und verschiedene Theorien (Kapitel 3.2), die einen Ansatz liefern sollen. Eine dieser Theorien ist die Stringtheorie (Kapitel 3.2.1), auf die ich explizit eingehen werde. Ein weiteres, relevantes Thema ist die Existenz von einem Multiversum (Kapitel 3.3), das auch mit Hilfe der Quantenphysik erklärt werden kann, gefolgt von einer Zusammenfassung mit Ausblick (Kapitel 4) und dem Anhang (Kapitel 5) mit Quellenverweisen und Erklärungen.

2 Grundlagen der Quantenphysik

Da es sinnvoll ist, das grobe Prinzip der Quantenphysik zu verstehen, werde ich auf Grundlagen der Quantenphysik eingehen, allerdings nur auf solche, die für diese Arbeit von Relevanz erscheinen. Diese werde ich auch nicht übermäßig erläutern, da sie zwar wichtig zum Verständnis sind, aber nicht das eigentliche Thema darstellen. An mehreren Stellen werde ich später auf sie zurückgreifen.

2.1 Allgemeines

Das Wort „Quanten“ hat seinen Ursprung im Lateinischen („Quantum“). Es steht für etwas Messbares und in der Physik für die kleinste diskrete Einheit ([E]). Während die Quantenphysik den allgemeinen Zweig in der Physik darstellt, ist die Quantenmechanik ein Teil davon, der sich mit dem Verhalten von Teilchen beschäftigt und versucht, Kräfte der bisher bekannten Teilchen (wie Elektronen, Protonen, Photonen, etc.) auf Atom- und Teilchenebene zu begründen. Dort kann sie Experimente erklären und sogar Ereignisse voraussagen ([4] S.12; [C]). Die Gesetze der klassischen Physik konnten dies damals nicht. Deshalb kam diese Fachrichtung vor gut 100 Jahren auf ([14] S.30). So sollten ungeklärte Fragen der Physik mit Hilfe dieser Theorie beantwortet und Vorgänge erklärt werden. Zwar ist die Quantenphysik immer noch eine Theorie, die sich aber enorm in der Physik gefestigt hat ([10] S.14). Sie basiert auf Experimenten und Beobachtungen und kann durch selbige auch weiterentwickelt werden, was zum Beispiel durch Physiker wie de Broglie oder Bohm geschehen ist ([10] S.14). Diese Optimierung hält bis jetzt immer noch an, da durch moderne Forschungsmethoden immer neue Erkenntnisse gewonnen werden, die zu einer Verbesserung der Theorie beitragen können. Trotz ihres Erfolgs gibt es immer noch offene Fragen.

Damals entstanden wichtige Prinzipien der Quantenphysik wie Verschränkung von Teilchen zu einem System¹ ([14] S.34) oder auch das Heisenbergsche Unschärfeprinzip, welches besagt, dass Ort und Impuls von Teilchen verschwimmen² ([3] S.53). Weil diese allerdings nicht von existenzieller Bedeutung für diese Arbeit sind, werde ich mich auf die zwei Folgenden beschränken.

2.2 Superposition

Die Quantenphysik erscheint in einigen Punkten paradox für den normalen Betrachter, denn die Quantenwelt funktioniert anders als unsere Welt. Bekanntlich hat jedes Objekt in unserem Verständnis der Natur einen klar definierten Zustand. Doch das ist in der Quantenphysik nicht so. Zustände von Objekten können sich überlagern. Man spricht von der Superposition.

Wie und ob man die Konzepte auch auf die makroskopische³ Welt anwenden kann, bietet viel Interpretationsspielraum, denn man kann die mikroskopischen⁴ Auswirkungen nicht genau auf unsere reale Welt übertragen. Verdeutlicht werden kann die Tatsache der Superposition mit dem berühmten Gedankenexperiment aus dem Jahre 1935 von Erwin Schrödinger, welches einen trivialen Ansatz bietet ([14] S.32):

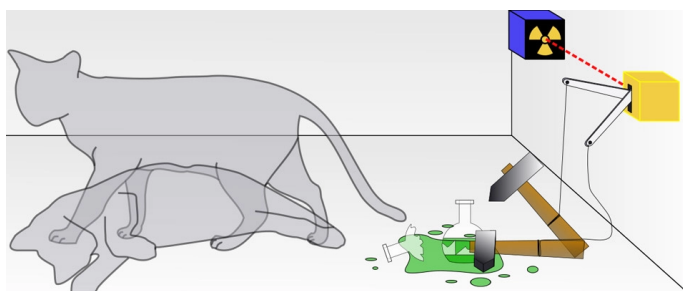


Abbildung 2.1: Das Gedankenexperiment Schrödingers Katze als Darstellung ([1] S.18)

Eine Katze ist in einem Käfig gefangen, zusammen mit einem radioaktiven Atom. Sofern dieses Atom zerfällt, würde der montierte Geigerzähler⁵

¹Der Zustand eines Teilchens bestimmt sofort auch den Zustand des korrelierenden Teilchens.

²Je genauer einer dieser Werte definiert ist, desto unschärfer ist der andere.

³mit bloßen Auge sichtbar ([N])

⁴nur mit vergrößerndem Gerät erkennbar([N])

⁵Instrument zum Messen von radioaktiver Strahlung

ausgelöst werden, der einen verbundenen Hammer aktiviert, welcher wiederum ein Glas mit tödlicher Blausäure zerstört (siehe Abbildung 2.1). Doch weil sich das Atom in der Quantenphysik in zwei Zuständen befinden kann, sowohl zerfallen als auch nicht zerfallen, ist seine konkrete Eigenschaft nicht definiert. Die Katze im Versuch wäre somit gleichzeitig lebendig und tot ([10] S.15).

Der Zustand des Systems setzt sich aus der Addition mehrerer Zustände $\alpha\psi_1$ und $\beta\psi_2$ zusammen⁶ ([K]):

$$\psi = \alpha\psi_1 + \beta\psi_2 \quad (2.1)$$

Der Sachverhalt der Superposition gilt allerdings nur solange das System unabhängig von einer Betrachtung ist. Bei einer Messung kollabiert die Überlagerung und der Ausgang des Experiments wird festgelegt.

2.3 Teilchendualismus

Quantenobjekte können zudem Welle⁷ und Teilchen⁸ gleichzeitig sein – man spricht vom Teilchendualismus. Um dieses Konzept zu erklären, beziehe ich mich auf das berühmte Doppelspaltexperiment ([10] S.14). Dabei werden Quantenteilchen, in diesem Fall Elektronen (siehe Abbildung 2.2), auf eine Platte mit zwei Spalten geschossen. Die Teilchen können nur durch die Spalten gelangen, da die Doppelspaltplatte an sich undurchdringlich ist. Dahinter ist ein Bildschirm, um zu erkennen, wo die Partikel landen ([R]).

Nach der Durchführung des Experiments mit den Teilchen ist ein Interferenzmuster⁹ zu erkennen, was eigentlich typisch für Wellen ist. Dieses entsteht dadurch, dass die Teilchen gleichzeitig durch beide Spalten dringen und sich dann überlagern ([10] S.15). Somit besitzen Teilchen auch typische Eigenschaften von Wellen. Aufgrund dieser Tatsache, werden die Teilchen mithilfe einer Wellenfunktion beschrieben. Da man nicht weiß, wo sich die Teilchen befinden, werden nur Wahrscheinlichkeiten für jeden Ort angegeben ([G]).

⁶ α und β geben den Anteil des Zustands an

⁷eine Art Schwingung([G])

⁸kleines Stück Materie([G])

⁹siehe Beobachtungsschirm, Abbildung 2.2 ([L])

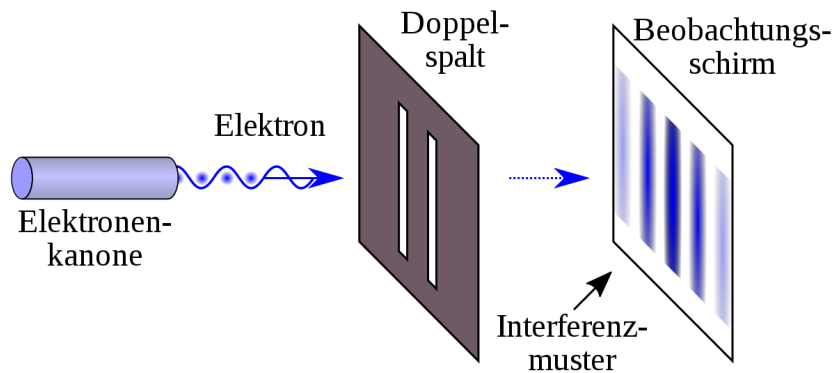


Abbildung 2.2: Aufbau des Doppelspaltexperiments ([L])

Doch sobald gemessen wird, durch welchen Spalt die Teilchen fliegen, entsteht das Muster auf dem Bildschirm, was man für „gewöhnlich“ erwarten würde – nämlich zwei Stapel bzw. Balken und kein Interferenzmuster, da die Teilchen durch die Messung jeweils nur einen Spalt durchqueren ([R]). Im Moment der Messung kollabiert also diese Wellenfunktion. Somit ist auch hier, wie bei Schrödingers Katze, der Beobachter wichtig. D.h. durch eine Betrachtung und die damit einhergehende Wechselwirkung, muss das jeweilige Objekt einen Zustand annehmen. Ob der Kollaps nun aussagt, dass beispielsweise alle anderen Zustände wegfallen, bietet einen großen Interpretationsspielraum, auf den ich nachher noch mal näher eingehe.

3 Quantenkosmologie

Einen Einblick in die Quantenwelt haben wir nun bekommen. Um zur Quantenkosmologie zu kommen, muss vorher noch der Begriff der (klassischen) Kosmologie geklärt werden. Übersetzt aus dem Griechischen bedeutet es so viel wie „Lehre von der Welt“. Sie ist existent, um den grundlegenden Aufbau des gesamten Universums zu klären. Das heutige Standardmodell der Kosmologie sagt unter anderem aus, dass das Universum damals mit dem Urknall begann und sich seit ca. 13,75 Milliarden Jahren ausdehnt. Das zentrale Ziel ist es nicht nur die Vergangenheit, sondern auch die Gegenwart und Zukunft des Kosmos zu ermitteln. Dabei greift man auf physikalische Theorien zurück ([M]).

Die Quantenkosmologie ist ein Fachgebiet in der modernen Kosmologie. Die Quantenphysik stellt das Fundament, um in und auf dem Universum angewendet zu werden. Eine Intention liegt darin, die Quantentheorie und ihre Prinzipien zu überprüfen, ob sie im Universum gelten können ([H] S.2). Um zudem ein einheitliches System zu erhalten, müssten die beiden größten Theorien der aktuellen Physik die Quantenphysik und die Allgemeine Relativitätstheorie fusioniert werden ([F]). Dadurch wäre es möglich viele ungeklärte Fragen des Universums zu beantworten, vor allem in Bezug auf den Urknall oder Schwarze Löcher ([6] S.37; [O]), bei denen man beide Theorien quasi gleichzeitig anwenden müsste ([3] S.50; [E]).

Die ersten richtigen Fortschritte der Quantenkosmologie konnten vor rund vor 50 - 60 Jahren gemacht werden ([3] S.50). Auch ihr Ziel war es, Phänomene des Alls (genauer) zu erklären, die durch die klassische Kosmologie, geprägt von Einsteins Relativitätstheorie, nicht ausreichend beantwortet worden konnten. Doch als wesentliches Hindernis stellte sich der Punkt dar, inwiefern man die Quantenmechanik überhaupt benutzen kann. Denn jene Konzepte werden normalerweise auf mikroskopischer Ebene, also in Bezug auf Atome und Teilchen, verwendet (siehe Kapitel 2.1). Wie lässt sich das auf einen makroskopischen Bereich anwenden?

Oder anders formuliert: Lässt sich eine Verbindung zwischen eben jenen kleinen Prozessen der Quantenmechanik und den großen Prozessen der Kosmologie ziehen ([3] S.54). Denn wie man am Experiment von Schrödingers Katze gesehen hat, gestaltet sich eine solche Umsetzung schwierig und ist noch komplizierter zu überprüfen.

3.1 Quantengravitation

Eine der wichtigsten Aufgaben der modernen Quantenkosmologie ist eben die Suche nach einer Verbindungstheorie der Quantenphysik und der Gravitation, die sogenannte Quantengravitation. Schon in den 1920er Jahren kamen erste Ideen dazu auf ([6] S.36). Obwohl die Forschung seit Dekaden anhält, gibt es nur vereinzelt Durchbrüche oder Ansätze, allerdings noch keine wirklich gängige Theorie ([6] S.34). Um auf die Suche nach Lösungsansätzen gehen zu können, müssen zuerst die Intention und die Probleme einer Theorie der Quantengravitation geklärt werden.

3.1.1 Intention

Die Physik kann allgemein durch vier verschiedene Kräfte beschrieben werden. Diese sind Gravitation, Elektromagnetismus, starke und schwache Kernkräfte ([3] S.54). Die drei Letzteren fundamentalen Kräfte konnten zum Standardmodell der Teilchenphysik¹ zusammengeführt werden ([13] S.13). So kann also das Verhalten von Teilchen auf Mikroebene beschrieben werden, zum Beispiel von Elektronen oder Photonen.

Die Relativitätstheorie von Einstein besagt, dass „Raumzeit und die Materie zudem wechselwirken, was wir als Schwerkraft wahrnehmen. Materie und Energie krümmen die Raumzeit, und das beeinflusst wiederum die Bewegung der Teilchen“ ([13] S.13). Sie ist gut auf Makroebene zu verwenden, um beispielsweise Sterne, Sonnensysteme oder Galaxien zu beschreiben ([6] S.34).

Doch warum überhaupt müssen nun schließlich diese beiden Theorien zu einer vereinigt werden? Reicht es nicht auch aus, dass beide gleichzeitig nebeneinander existieren ([6] S.37)?

Wenn es um massive Objekte geht, bei denen die Schwerkraft wirkt und die Quantenauswirkungen überdeckt werden, behilft man sich einfach

¹beschreibt die Wechselwirkungen der bekannten Elementarteilchen

mit den Gravitationsgesetzen. Möchte man Zusammenstöße von Teilchen untersuchen, kann man auf die Quantenphysik zurückgreifen ([13] S.13). Doch sobald man Fragen stellt, bei der die beiden Vorgänge in Beziehung gesetzt werden, z.B. auf die Fragen von vorhin, was in Singularitäten oder Schwarzen Löchern passiert, gibt es darauf schlichtweg keine passende Antwort ([10] S.20; [6] S.37). Denn dort kann die allgemeine Relativitätstheorie alleine nicht mehr weiterhelfen. Sie muss zwangsläufig mit Hilfe der Quantenphysik ergänzt werden, weil solche Prozesse vermutlich auf einer sehr kleinen Ebene nahe der Planck Skala² stattfinden würden. Man ist aber bis jetzt gescheitert die Relativitätstheorie zu quantisieren, d.h. jene in die Gesetzmäßigkeit der Quantenphysik zu überführen ([13] S.14). Um aber eine Antwort zu bekommen, müssen beide zusammenarbeiten. Der folgende Versuch soll dies deutlich machen:

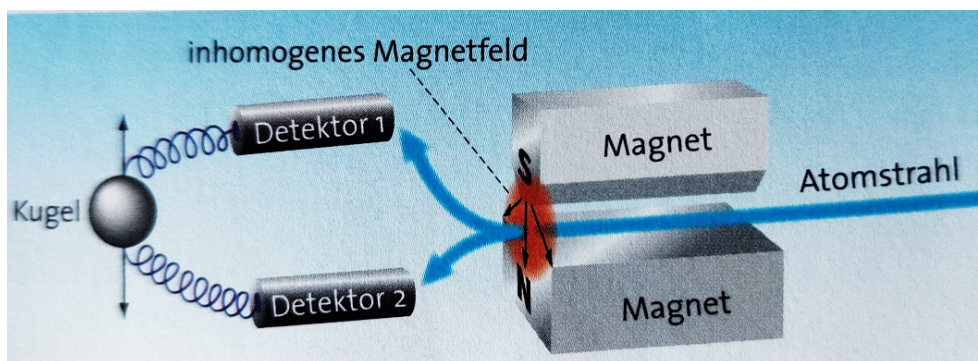


Abbildung 3.1: Aufbau des Stern-Gerlach-Versuchs ([5] S.36)

Der amerikanische Physiker Richard Feynman benutzte den „Stern-Gerlach-Versuch“. Es werden Elektronen durch ein Magnetfeld geschickt (siehe Abbildung: 3.1)³, dabei haben die Elektronen einen Spin⁴, sodass sie durch das Magnetfeld entweder nach oben oder nach unten abgelenkt werden. Es sind zwei Detektoren integriert, die messen, ob das Teilchen nach oben oder unten abgelenkt wird. Die Detektoren werden mit einer Kugel verbunden. Wenn ein Elektron nach oben abgelenkt wird, geht auch die Kugel nach oben, im anderen Fall nach unten. Doch aus dem Experiment von Schrödingers Katze wissen wir, dass Zustände der Teilchen sich überlagern können. Somit könnte auch ein Teilchen in beide Richtungen abgelenkt werden, wodurch sich auch die Kugel gleichzeitig

²definiert die Grenze der Anwendbarkeit von physikalischen Gesetzen

³der Atomstrahl in der Abbildung muss in unserem Fall ein Elektronenstrahl sein

⁴meint hier die Rotation um die eigene Achse des Elektrons

nach oben und unten bewegen würde. Da die Kugel ein makroskopisches Objekt ist und zwangsläufig ein Gravitationsfeld besitzt, entsteht eine Überlagerung von diesen Feldern.

Diese Gravitationsfelder könnten nur mit einer Quantengravitationstheorie charakterisiert werden ([6] S.35). Mit der könnten dann aber nicht nur im Experiment auf der Erde Phänomene erläutert werden, sondern im ganzen Universum.

3.1.2 Inkompatibilität

Obwohl wir jene also brauchen und sich schon viele Wissenschaftler an der Suche nach der „Theorie von allem“ ([8] S.42) versucht haben, gibt es immer noch keinen wirklichen Erfolg ([13] S.13). Das Problem liegt in der Inkompatibilität⁵ der Relativitätstheorie und der Quantenphysik, da beide auf unterschiedlichen Prinzipien basieren ([13] S.13).

Neben dem Problem, dass beide Theorien auf unterschiedlichen Skalen⁶ funktionieren, besteht ein weiteres Problem in der Nichtlokalität. Durch Verschränkung können Teilchen trotz (großer) räumlicher Trennung so verbunden werden, dass der Zustand des einen sofort den Zustand des anderen beeinflusst. Dies steht im Widerspruch mit der Relativitätstheorie, nach der nichts schneller als Licht sein kann und somit die Zustandsänderung zeitlich versetzt eintreten müsste ([10] S.15). Ein weitere Gegensätzlichkeit stellt das „Problem der Zeit“ dar ([J] S.4).

Die Relativitätstheorie geht von einer fortlaufenden Raumzeit aus, die durch Masse gekrümmt werden kann. Es lässt sich daraus schließen, dass Zeit nicht grundsätzlich gleich ist, sondern relativ sein kann und damit dynamisch ist ([J] S.2).

Die Quantenphysik hat allerdings eine Zeit als Grundlage, die gleichförmig verläuft und nicht durch externe Objekte beeinflusst werden kann. Dies ist die absolute Zeit

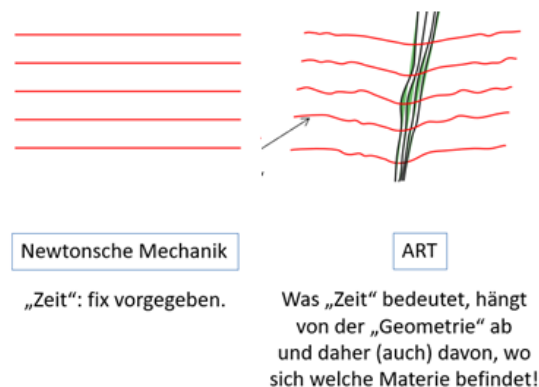


Abbildung 3.2: absolute und dynamische Zeit [1]

⁵meint soviel wie Unvereinbarkeit

⁶Quantenphysik im Mikrokosmos und Relativitätstheorie im Makrokosmos

und wurde damals von Newton konkretisiert ([6] S.37).

Wollen wir nun beide verbinden, kommen wir zu einem Widerspruch, denn bei einer Verbindung wäre die Zeit absolut und dynamisch zugleich, was nicht funktionieren kann, weil dies gegensätzliche Annahmen sind ([6] S.37; [A] S.3).

Bedienen wir uns dazu der Mathematik und einiger Formeln:

Während man in der klassischen Physik für jeden Zeitpunkt einen bestimmten Ort feststellen kann, kann man in der Quantenmechanik mit Hilfe der Wellenfunktion (siehe Kapitel 2.3) also nur eine Wahrscheinlichkeit bestimmen. D.h. zum Zeitpunkt 0 bestimmt die Wellenfunktion für einen Ort x eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit (siehe Formel 3.1)⁷:

$$\psi_0(x) \tag{3.1}$$

Hat man eine Wellenfunktion zur Startzeit, kann man daraus die Funktion zu einem späteren Zeitpunkt ermitteln. Die sogenannte Schrödingergleichung (siehe Formel 3.2)⁸ beschreibt die Entwicklung im Laufe der Zeit. Sie ist damit eine Funktion des Ortes und der Zeit (t ist die Variable für die Zeit, x steht für den Ort)([I]):

$$\psi_t(x) \tag{3.2}$$

Wie könnte man dieses Prinzip der Schrödingergleichung bei der Relativität anwenden, um sie mit der Quantenmechanik zu vereinen? Durch ein schematisches Anwenden „verschwindet die vierdimensionale Raumzeit analog zur Teilchenbahn“ ([6] S.39). Ergo: Man erhält die Variable g für die Gravitation der dreidimensionalen Geometrie. Diese kann man nun in die Wellenfunktion einsetzen (siehe Formel 3.3)⁹:

$$\Psi_t[g] \tag{3.3}$$

⁷Formel zum besseren Verständnis vereinfacht dargestellt

⁸zum besseren Verständnis gekürzt abgebildet

⁹Das Ψ und die $[]$, stellen nur eine andere Schreibweise dar, welche bedingt durch die mehreren Dimensionen geschrieben werden

Hier wird nun das Problem klar: Durch den Zeitpunkt der normalen Wellenfunktion kann man ein Ergebnis für den Ort ermitteln. Doch da in der Relativität die Zeit t vom Ort, der hier durch g bestimmt wird, abhängt und somit auch vom Messergebnis, kann kein Zeitpunkt t ermittelt werden. Also: Man kann nur mithilfe des Zeitpunkts ein Ergebnis für einen Ort definieren, der aber selbst den Zeitpunkt definiert. Es macht schlichtweg keinen wirklichen Sinn in einer Gleichung und ist damit nicht möglich zu lösen ([I]; [J])

Trotz dieser Divergenzen wurde bzw. wird die Suche nach einer Quantentheorie der Gravitation fortgesetzt. Einen mathematischen Ansatz lieferten dafür 1967 die Wissenschaftler John Archibald Wheeler und Bryce DeWitt mit ihrer Wheeler-DeWitt-Gleichung (siehe Formel 3.4) ([6] S.40; [Q]). Das Vorgehen war dabei eher formal, da Widersprüche, wie die das Problem der Zeit, nicht beachtet wurden. Sie sollte als Wellenfunktion das gesamte Universum beschreiben. So stellten sie schließlich ihre Gleichung¹⁰ auf, in der der Parameter der Zeit nicht vorkommt. Wir brauchen nur auf das fehlende t im Index des Ψ schauen und sehen, dass hier die Variable für die Zeit fehlt ([I]).

$$\left(G[g] \frac{\delta}{\delta g} \frac{\delta}{\delta g} - R[g] \right) \Psi[g] = 0 \quad (3.4)$$

Nur unter bestimmten Umständen wäre es möglich¹¹, eine Art Zeitbegriff zu ermitteln ([K]).

Wenn man dann noch hinterfragt, ob es überhaupt sinnvoll ist, dass eine statische Wellenfunktion ein dynamisches Universum beschreiben soll und sie zudem starke, mathematische Schwierigkeiten aufweist, weshalb die Wellenfunktion bisher noch nicht wirklich berechnet werden konnte, werden die Zweifel an ihr noch größer([J]). Somit ist sie auch nicht eine eindeutige bzw. die gesuchte Lösung.

¹⁰Anmerkung: Formel wurde vereinfacht, indem die Materie weggelassen wurde.

¹¹mithilfe der Werten in der Klammer

3.2 verschiedene Theorien

Es müssen also andere Lösungsansätze gefunden werden. So gibt es mehrere Theorien, die alle ihre Legitimation haben aber sich trotzdem unterscheiden. Im Folgenden werde ich auf drei dieser eingehen:

Die kausale dynamische Triangulation¹² kann man neben der Stringtheorie und der Schleifenquantengravitation eher als Außenseiter betrachten. Die Raumzeit wird in viele vierdimensionale Dreiecke unterteilt ([5] S.26). Die Dreiecke werden zusammengefügt, sodass ein Kausalzusammenhang¹³ besteht, also alle die gleiche Zeitrichtung besitzen ([1] S.16). Mithilfe dieser Triangulierungen kann man sich Krümmungen annähern ([7] S.71). Damit könnte man alle möglichen Raumzeiten als Modell darstellen, wobei diese auch gekrümmt sein können ([7] S.72). Aus solchen Krümmungen der Raumzeit kann die Gravitation geometrisch hervor gehen und könnte so eine Verbindungstheorie darstellen ([7] S.70).

Eine der am häufigsten diskutierten Theorie ist die Schleifenquantengravitation¹⁴ ([6].40). Diese basiert auf der vierdimensionalen Raumzeit. Der Raum wird als ein Netzwerk, welches Spinnnetzwerk heißt, dargestellt, in dem es Knoten gibt, die miteinander verbunden sind ([12] S.64). Durch die Verbindungen entstehen die namensgebenden Schleifen, die auch in zufälliger Weise aneinandergereiht sind ([6] S.40). Das Zusammenwirken dieser Schleifen erzeugt ein Raumzeitgerüst, in dem Raumzeit gekrümmt sein kann ([1] S.16). Kurz gesagt wird versucht, die große Gravitation auf die kleinen Strukturen der Quantenwelt zu beziehen. Bei der im folgenden Kapitel beschriebenen Theorie wird erst die Quantenwelt verändert, um sie dann auf die Gravitation zu beziehen ([I]).

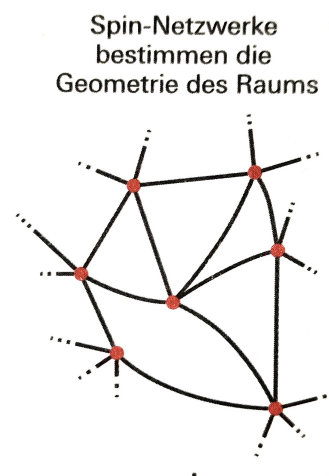


Abbildung 3.3: Struktur der SQG ([9] S.16)

¹²Zerlegung eines Raumes u.a. in Dreiecke

¹³Beziehung zwischen Ursache und Wirkung

¹⁴eng.: Loop Quantum Gravity, deshalb auch als Loop-Theorie geläufig

3.2.1 Stringtheorie

Die aktuell vielleicht erfolgversprechendste Theorie ist die Stringtheorie. Diese gewann vor allem in den 1980er Jahren an Popularität ([P]). Im Rahmen dieser Theorie gibt es keine punktförmigen Teilchen, sondern Strings. Man kann sie sich als eindimensionale Saiten vorstellen, die schwingen ([1] S.16). Die gesamte Welt und ihre Atome würde aus vielen dieser Strings bestehen und je nach Schwingungen verschiedene Elementarteilchen darstellen ([8] S.44) So gebe es auch ein Graviton, welches die Gravitation auf Quantenebene erklären und somit die gesuchte Vereinigung darstellen könnte ([D]).

Doch diese Theorie ist selbst für Wissenschaftler schwer zu verstehen und steht sehr in der Kritik, da sie auch viele mathematische Probleme besitzt und nicht eindeutig ist ([8] S.46). Zudem bleibt die aktuelle Überprüfung resultarlos ([1] S.16). So wird auch versucht, mit Ergebnissen aus der Kosmologie passende Bestätigungen zu finden ([8] S.47). Doch auch

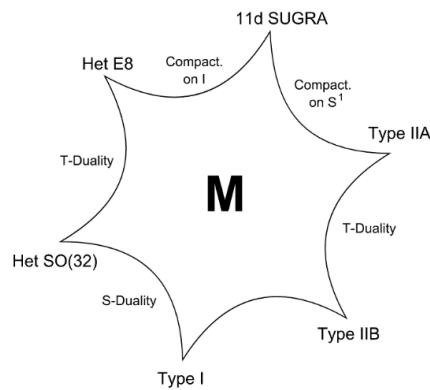


Abbildung 3.4: M-Theorie als Darstellung ([B])

Experimente gestalten sich schwierig, da die Längen der Stings auf der Größe der Planck Länge¹⁵ von 10^{-35} Metern liegen ([8] S.44) und damit aktuell nicht messbar sind ([D]). Ein weiteres Problem stellen die zusätzlichen Dimensionen dar ([1] S.16). Denn durch eine Anzahl von 10^{500} verschiedenen Realisierungen der Stringtheorie, muss es mindestens 10 Dimensionen geben ([12] S.61). In den 1980er Jahren gab es fünf verschiedene Typen der Stringtheorien, die am Ende unsere Welt alle jeweils identisch beschrieben, nur in einem anderen Bereich ihrer Parameter ([B]).

So kam Edward Witten 1995 auf die Idee, alle diese fünf Arten: Type I, Type IIA, IIB, E8 und SO(32), in einer einzigen Theorie zu vereinigen, indem er eine weitere Dimension zu den zehn hinzufügte (siehe Abbildung3.4 ¹⁶)([8] S.44). Zwischen diesen entstehen Dualitäten, die

¹⁵kleinste Länge, die es in der Physik geben kann

¹⁶die 11d SUPERGRAVitation stellt einen Grenzfall dar, den wir nicht weiter beachten

eben aussagen, dass sie das gleiche Ergebnis berechnen. Er nannte sie M-Theorie, eventuell weil sie die Mutter aller Stringtheorien ist oder weil sie eine Membranstruktur kennzeichnet ([B]).

Da die Stringwelt deutlich mehr Dimensionen hat als unsere, müssen diese verdichtet bzw. kompaktifiziert werden. Denn all diese hätten Einfluss auf unsere 4-dimensionale Welt. Durch die Menge an Möglichkeiten der Kompaktifizierung und ihre verschiedenen Einflüsse, gäbe es eine Menge an verschiedenen Universen. Es entstünde die Option eines Multiversums ([8] S.44) mit einer Zahl von 10^{100} oder sogar 10^{1000} Universen.

Potenziell gäbe es auch Übergänge zwischen Universen mit hohem und niedrigem Energiegehalt, die in einer Veränderung resultieren und einen Ansatz zum Urknall darstellen könnten ([8] S.45).

Da aber nicht mal unser eigenes Universum in der Stringtheorie fündig gemacht werden konnte, entsteht auch hier Kritik, sich lieber an vielen Welten als Lösung festzuklammern, als eine konkrete Lösung für eine Welt zu finden. „So scheint die Stringtheorie alles vorherzusagen und damit letztlich nichts“ ([8] S.45).

3.3 Multiversum

Die Möglichkeit des Multiversums ist ein durchaus kontroverses Konzept. Besonders, da die Existenz anderer Universen neben unserem für manch einen befremdlich erscheint, auch weil diese Welten uns bisher verborgen geblieben sind und eventuell auch bleiben ([9] S.13). Aufgrund der Unendlichkeit des Universums scheint gar alles möglich. Viele Bücher bzw. Filme verwenden das Multiversum, da es ein fiktives Gebilde sein zu scheint ([2] S.72). Doch mithilfe der Quantenphysik scheint dies nicht mehr allzu abstrakt, weil es auf wissenschaftlicher Ebene erklärt werden könnte ([11] S.70).

Mit Erkenntnissen auch aus der Kosmologie sind sich viele Forscher einig, dass die Eventualität des Multiversums gänzlich besteht. Es gibt bisher keine eindeutigen Beweise, da auch hier ist eine Überprüfung schwierig ist. Trotzdem werden weitere Versuche durchgeführt ([9] S.19).

Eine Idee für ein Multiversum, die wir nun bereits kennen, ist die Stringtheorie, die besagt, dass durch die Potenzialitäten der Kompaktifizierung von Dimensionen, es förmlich andere Universen geben muss. Es gibt allerdings noch andere Konzepte, die auch ein Multiversum zur Folge hätten.

Dabei werden verschiedene Arten mit mehreren Ebenen unterschieden. Die Ebene I des Multiversums würde verschiedene Universen besitzen, die sich von unserem Universum aber nur wenig bis gar nicht unterscheiden. Es würden die gleichen Naturgesetze herrschen ([11] S.70).

Im Multiversum der Ebene II gäbe es mehrere Multiversen der Ebene I nebeneinander. Das Konzept, das dazu führt, ist die Theorie der kosmischen Inflation. Sie besagt, dass das Universum kurz nach dem Urknall exponentiell expandierte und es in diesem Prozess zu einer Art Blasenbildung kam, bei der sich innerhalb des expandierenden Universums neue Universen gebildet haben könnten. Jede Blase wäre somit ein Ebene I Multiversum, die Gesamtheit all dieser ein Multiversum der Ebene II, indem ganz andere Natureigenschaften vorherrschen ([11] S.72). Während in der Ebene IV nochmal komplett abstraktere Naturgesetze existieren würden, ist für uns die Ebene III am interessantesten.

Erinnern wir uns an die Grundlagen zurück: In der Quantenphysik sind mehrere Zustände¹⁷ gleichzeitig möglich. So wird meistens davon ausgegangen, dass im Moment der Beobachtung, wenn die Wellenfunktion kollabiert, jeweils ein bestimmter Zustand angenommen wird und die anderen wegfallen. Dies ist die sogenannte Kopenhagener Interpretation ([9] S.14).

Doch der Mathematiker Hugh Everett stellte 1957 die „Viele-Welten-Interpretation“ auf. Anfangs fand sie aber wenig Beachtung, wurde aber später immer bedeutsamer ([2] S.66). Er übertrug die Quantenphysik auf makroskopische Systeme, sodass auch Universen in Superposition sein können ([2] S.68). Es gibt keinen Kollaps der Wellenfunktion ([3].55), sondern, eben anders als in der Kopenhagener Interpretation, spaltet sich die Wellenfunktion in verschiedene Welten auf ([2] S.68). Es bilden sich alternative Zweige der Wellenfunktion, sodass für jeden Ausgang einer Entscheidung eine eigene Welt existiert ([2] S.68). Anders formuliert gibt es eine ständige Aufspaltung der Welten bzw. des Universums und damit auch des Betrachters. Alle Universen existieren weiter in „Koexistenz“ ([9] S.15) und stellen somit Parallelwelten dar.

Am Beispiel von Schrödingers Katze würde die Katze bei der Beobachtung also nicht tot **oder** lebendig sein, sondern in einem Universum tot **und** in einem anderen lebendig.

Ein Konzept verbindet jenes von Everett und das der kosmischen Inflatio-

¹⁷Superposition

on: So sind unendliche Tochteruniversen nach dem Urknall, in Superposition befindlich, entstanden. Durch weitere Verzweigung gibt es immer mehr mögliche Ausgänge, die sich überlagern. Die Anzahl an Möglichkeiten, die sich seit Beginn entwickelt haben, führt zu einer Entstehung eines abstrakten Raums mit Welten, die Wahrscheinlichkeiten besitzen, einzutreten ([9] S.19). Kurz gesagt: „Der Quantenzustand des endlos inflationär expandierenden Universums ist eine Superposition unterschiedlicher Welten“ ([9] S.18).

Wäre entweder diese oder Everetts Annahme richtig, könnte die Quantenphysik nicht nur für die Quantenwelt gelten, sondern auch im Multiversum und könnte sowohl Mikrokosmos als auch Makrokosmos beschreiben ([9] S.15).

4 Zusammenfassung mit Ausblick

Die komplexe Welt der Quantenphysik hat vor 100 Jahren die Physik revolutioniert. So sollte sie auch Abhilfe in der Kosmologie schaffen. Zwar existieren die allgemeine Relativitätstheorie, gedacht zur Beschreibung der Makrowelt, und die Quantenphysik, gedacht zur Beschreibung der Mikrowelt, aber sobald ein Phänomen auftaucht, bei dem es nötig ist beide anzuwenden, ist man nicht in der Lage dieses genau zu erläutern. Um schließlich Antworten auf substanzielle Fragen des Kosmos zu bekommen ist eine Theorie der Quantengravitation unausweichlich. Die Frage stellte sich aufgrund von vielen Problemen nur, wie wir zu jener gelangen. Ein Aspekt meiner Arbeit waren deshalb auch einige verschiedenen Theorien der Quantengravitation. Vielleicht ist die Wissenschaft in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten soweit, Theorien zu bestätigen, zu widerlegen oder gar neue zu finden. Sie könnte auch den Grundstein legen, eine Existenz oder den Habitus des Multiversums zu definieren.

Trotz Kritik an all jenen Theorien kann die Quantenkosmologie mithilfe der Quantenphysik eine Basis darstellen, das Universum vor allem in der Zukunft zu erklären und das Rätsel des Quantenkosmos zu entschlüsseln.

5 Anhang

5.1 Quellenverweise

Literaturquellen

- [1] BECKER, A. : Woraus besteht die Raumzeit? In: *Spektrum der Wissenschaft* (2022), Mai
- [2] BYRNE, P. : Die Parallelwelten des Hugh Everett. In: *Spektrum der Wissenschaft - Dossier* (2009), Jan.
- [3] HALLIWELL, J. J.: Quantenkosmologie und die Entstehung des Universums. In: *Spektrum der Wissenschaft* (1992), Febr.
- [4] HARTNETT, K. : Das Fundament der Physik. In: *Spektrum der Wissenschaft* (2021), Nov.
- [5] JAN AMBJORN, e. a.: Das fraktale Quantenuniversum. In: *Spektrum der Wissenschaft* (2009), Febr.
- [6] KIEFER, C. : Auf dem Weg zur Quantengravitation. In: *Spektrum der Wissenschaft* (2012), Apr.
- [7] LOLL, R. : Quanten-Raumzeit aus dem »Nichts«. In: *Spektrum der Wissenschaft - SPEZIAL* (2007), März
- [8] LÜST, D. : Ist die Stringtheorie noch eine Wissenschaft. In: *Spektrum der Wissenschaft-Dossier* (2010), Febr.
- [9] NOMURA, Y. : Reise ins Quanten-Multiversum. In: *Spektrum der Wissenschaft* (2017), Sept.
- [10] STRUYVE, W. : Eine klassische Quantenwelt. In: *Spektrum der Wissenschaft* (2020), Okt.

- [11] TEGMARK, M. : Paralleluniversen. In: *Spektrum der Wissenschaft - Dossier* (2005), Mai. – (Nachdruck als Highlights 4)
- [12] THIEMANN, T. : Die Suche nach dem heiligen Gral. In: *Spektrum der Wissenschaft - SPEZIAL* (2007), März
- [13] TILLOY, A. : Für immer unvereinbar? In: *Spektrum der Wissenschaft* (2019), Aug.
- [14] ZEILINGER, A. : Die Wirklichkeit der Quanten. In: *Spektrum der Wissenschaft-Dossier* (2010), Febr.

Internetquellen

- [A] *Cambridge University Press (Rovelli, C.) - Quantengravitation*
. <http://alpha.sinp.msu.ru/~panov/RovelliBook.pdf>, . –
Stand 08.03.23
- [B] *Cosmos-indirekt - M-Theorie*
. <https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/M-Theorie>,
. –
Stand 02.03.23
- [C] *FU Berlin - Quantenphysik*
. [https://www.physik.fu-berlin.de/forschung/
quantenphysik/index.html](https://www.physik.fu-berlin.de/forschung/quantenphysik/index.html), . –
Stand 29.02.23
- [D] *Max-Planck-Institut - String-Theorie*
. <https://www.aei.mpg.de/349045/string-theory>, . –
Stand 29.02.23
- [E] *Max-Planck-Institut - Was sind Quanten?*
. <https://www.ds.mpg.de/203044/07>, . –
Stand 24.02.23
- [F] *Spektrum - Quantenkosmologie*
. [https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/
quantenkosmologie/372](https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/quantenkosmologie/372), . –
Stand 20.02.23
- [G] *StudySmarter - Der Wellen-Teilchen-Dualismus*
. [https://www.studysmarter.de/schule/physik/
quantenmechanik/heisenbergsche-unschaerferelation/](https://www.studysmarter.de/schule/physik/quantenmechanik/heisenbergsche-unschaerferelation/),
–
Stand 07.03.23
- [H] *Universität Heidelberg - Warum Quantenkosmologie?*
. [https://www.thp.uni-koeln.de/gravitation/zeh/WarumQK.
pdf](https://www.thp.uni-koeln.de/gravitation/zeh/WarumQK.pdf), . –
Stand 06.03.23
- [I] *Universität Wien (Franz Embacher) - ART und Quantenphysik*
. <https://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/Rel/>

ARTundQuantenphysik/ARTundQuantenphysik_BORG3.ppsx, . –
Stand 23.02.23

[J] *Universität Wien (Franz Embacher) - Quantengravitation und das Problem der Zeit*
. https://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/keineZEIT/Quantengravitation_und_das_Problem_der_Zeit.pdf, . –
Stand 27.02.23

[K] *Universität zu Köln (Claus Kiefer) - Der Quantenkosmos*
. https://www.heisenberg-gesellschaft.de/uploads/1/3/5/3/13536182/workshop2018_kiefer_praesentation.pdf, . –
Stand 04.03.23

[L] *Wikipedia - Doppelspaltexperiment Bild*
. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/01/Double-slit_de.svg/1200px-Double-slit_de.svg.png, . –
Stand 01.03.23

[M] *Wikipedia - Kosmologie*
. <https://de.wikipedia.org/wiki/Kosmologie>, . –
Stand 21.02.23

[N] *Wikipedia - mikroskopisch und makroskopisch*
. <https://de.wikipedia.org/wiki/Mikroskopischundmakroskopisch>, . –
Stand: 08.03.23

[O] *Wikipedia - Quantengravitation*
. <https://de.wikipedia.org/wiki/Quantengravitation>, . –
Stand 29.02.23

[P] *Wikipedia - Stringtheorie*
. <https://de.wikipedia.org/wiki/Stringtheorie>, . –
Stand 02.03.23

[Q] *Wikipedia - Wheeler-DeWitt-Gleichung*
. <https://de.wikipedia.org/wiki/Wheeler-DeWitt-Gleichung>, . –
Stand 25.02.23

- [R] *Youtube - NUR SO kann Gravitation funktionieren! Quantengravitation*
. <https://youtu.be/qxEoRqcw78c>, . –
Stand 26.02.23

5.2 Abbildungsverzeichnis

2.1	Das Gedankenexperiment Schrödingers Katze als Darstellung ([1] S.18)	4
2.2	Aufbau des Doppelspaltexperiments ([L])	6
3.1	Aufbau des Stern-Gerlach-Versuchs ([5] S.36)	9
3.2	absolute und dynamische Zeit [I]	10
3.3	Struktur der SQG ([9] S.16)	13
3.4	M-Theorie als Darstellung ([B])	14

5.3 Erklärungen

5.3.1 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den 13. März 2023

Unterschrift des Schülers *M. Schlaad*

5.3.2 Veröffentlichungserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den 13. März 2023

Unterschrift des Schülers *M. Schlaad*