

TEILCHEN ODER WELLE?

Anmerkungen zum Impuls

“Physik und Glaube:

Was die Welt im Innersten zusammenhält“

Pfarrei St. Josef Zürich, Pfingsten 2022

**Nach: E.P.Fischer: „Die Stunde der Physiker -
Einstein, Bohr, Heisenberg und das Innerste der Welt, 1922 - 1932
Verlag C.H.Beck, München 2022**

Markus Brodmann
Institute of Mathematics
University of Zürich
Switzerland
brodmann@math.uzh.ch

DANK

Mein Dank geht an:

Gian Rudin, Pastoralassistent, Theologe und Katechet in der Pfarrei St. Josef: für die interessanten Gespräche im Grenzbereich zwischen Philosophie, Naturwissenschaft und Glauben, welche zu einer zweiteiligen Sendung bei Radio Maria und dem heutigen Anlass führten.

Dieter Hattrup, Priester, emeritierter Professor für Dogmatik in Paderborn und Fribourg, Mathematiker und Philosoph: für die Einsicht in die von ihm initiierte Philosophie der Sesquiistik, die ich aus seinen Aufsätzen, unseren Gesprächen und einer dreiteiligen Sendung bei Radio Maria erhalten durfte. Insbesondere wurde mir dadurch klar, welche grosse philosophische Bedeutung dem physikalischen Thema zukommt, über das ich heute sprechen möchte.

Johann Kappeler, Priester in der Pfarrei St. Josef: für die freundliche und entgegenkommende Aufnahme, die er unserer Gruppe der Legion Mariens gewährt. Dadurch wurde mir die Pfarrei St. Josef ein wenig zur „zweiten kirchlichen Heimat“. Eine Folge davon ist, dass ich heute hier zu Ihnen reden darf.

WOMIT ES BEGANN: DAS PLANCKSCHE WIRKUNGSQUANTUM

Max Planck (deutscher Physiker, 1858-1947) stiess beim Versuch, die „Strahlung eines schwarzen Körpers“ theoretisch zu erklären in den Jahren 1899/1900 auf das Gesetz (Nobelpreis 1918)

$$E = h \times f.$$

In **heutiger** Leseweise: “Energie eines Photons = $h \times$ Wellenfrequenz“ mit $h =$ Wirkungsquantum = $0,62607015 \times 10^{(-33)}$ [Joule-Sekunden]

Doch: Damals waren Photonen (= “Lichtteilchen”) noch nicht bekannt !!

Planck folgte in seinen Ueberlegungen einem Erfolg versprechenden theoretischen Ansatz des Oesterreichischen Physikers Ludwig Boltzmann (1844-1906). Er führte “**harmonische Oszillatoren (nur mathematisch definierte Objekte !!)** der Wirkung h “ ein. Dann wollte er “**die Hilfsgrösse h nach 0 streben lassen**” um das gesuchte „**Strahlungsgesetz für schwarze Körper durch Grenzwertbildung herzuleiten**“.

Das Strahlungsgesetz von Planck gibt die von den Experimentatoren gemessenen Strahlungswerte sehr gut wieder, **allerdings nicht, wenn h gegen null strebt, sondern wenn es den oben angegebenen (sehr kleinen!) Wert annimmt.**

Mathematische Spielerei oder grosse Entdeckung?

DIE WELLEN-TEILCHEN-NATUR DES LICHTES

Isaac Newton (Englischer Physiker, Mathematiker und Philosoph, 1643-1727) verstand das Licht als „**Strom von Teilchen (Lichtkorpuskeln)**“.

Thomas Young (Englischer Arzt und Physiker, 1773-1829) wies **1802** mit Hilfe des von ihm entwickelten **Doppelspalt-Versuchs** nach, dass das Licht eine **Wellennatur** hat. Die Newtonsche Lichtkorpuskeln-Hypothese galt damit als widerlegt.

Albert Einstein (Deutsch-Schweizerischer-Amerikanischer Physiker, 1879 – 1955) deutete 1905 (Nobelpreis 1921) den schon im 19. Jahrhundert beobachteten **photoelektrischen Effekt** (Hochfrequentes Licht “schlägt Elektronen aus Metallen heraus”) auf neue Weise und wies damit nach, dass es **Lichtquanten** (später **Photonen** genannt) gibt. Fazit: **Das Licht hat eine Wellen-Teilchen Doppelnatur!** Aus dem photoelektrischen Effekt lässt sich das **Planksche Wirkungsquantum h** experimentell bestimmen, was zeigt, dass Planks Entdeckung mehr als eine mathematische Spielerei war. *Damit hat Einstein die Türe zu dem geöffnet, was man später **Quantenphysik** nannte.*

Im Jahre 1905 veröffentlichte Einstein auch seine **spezielle Relativitätstheorie**, die er im Jahre 1915 zur **allgemeinen Relativitätstheorie** erweiterte. *Die Hauptaussagen dieser neuen Theorien stehen (teilweise) im Widerspruch zur Newtonschen Mechanik, die zuvor das “**Welterklärungsmodell par excellence**” war.*

ELEKTRONEN, PHOTONEN UND DAS ATOM

Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach (Oesterreichischer Physiker, Physiologe und Philosoph, 1838 – 1916): „*Soso, Atome! Haben's denn schon eins gesehen?*“ Mach war führender Vertreter der „Anti-Atomisten“, die postulierten: „**Atome gibt es nicht**“.

Joseph John Thomson (Englischer Physiker, 1856 – 1914) wies 1897 experimentell die **Existenz des Elektrons** nach (Nobelpreis 1906) und entwarf ein **Atommodell**.

Ernest Rutherford (Britischer Physiker aus Neuseeland, 1871 – 1937) **verbesserte** 1911 auf Grund von Streuversuchen an Goldfolien Thomsons **Atommodell** wesentlich.

Niels Henrik David Bohr (Dänischer Physiker, 1885 – 1962) entwickelte ein neues **Atommodell**, das die bereits im 19. Jahrhundert beobachtete Lichtemission von chemischen Elementen mit dem „**Quantensprung**“ der **Elektronen im Atom** als **Photonen-Emission** erklärt (Nobelpreis 1922).

Arnold Sommerfeld (Deutscher Mathematiker und Physiker, 1868-1951) verbesserte 1915 zusammen mit Bohr das genannte Atommodell zum **Bohr-Sommerfeld-Modell**, das die gemessenen Licht-Emissionswerte quantitativ bestätigt.

**Die Quantenphysik löst das universelle Erklärungs-
Modell der Newtonschen Mechanik ab!**

GLOSSAR: TEILCHEN UND ATOME (HEUTIGE SICHT)

Photon: Licht-Teilchen, hat keine Masse; bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit.

Elektron: Hat eine (kleine) Masse; trägt die negative elektrische Elementarladung (= kleinste negative Ladung); hat Teilchen-Wellen-Doppelnatur (Erklärung folgt später).

Proton: Hat eine grosse Masse; trägt die positive elektrische Elementarladung, die der des Elektrons genau entgegengesetzt ist.

Neutron: Hat eine grosse Masse (wie das Proton); elektrisch „neutral“ (ohne Ladung).

Atom: Besteht aus einem schweren **Kern**, der umgeben ist von **Elektronen**. Der Kern besteht aus Protonen und Neutronen. Die Zahl der Protonen und die Zahl der Elektronen stimmen überein. Die Elektronen „umschwirren“ den Kern und können verschiedene „Energiezustände“ annehmen. Diese Zustände können sie spontan wechseln (Quantensprung, verbunden mit Photonen-Emission resp. Absorption).

Zur Chemie: Die **chemischen Elemente** liegen in Form von Atomen vor. **Chemische Verbindungen** liegen in Form von **Molekülen** vor, die aus mehreren Atomen zusammengesetzt sind, die untereinander durch Elektronen verbunden werden.

Im Gegensatz zu ihrem griechischen Namen „A-Tom“, sind Atome teilbar (z.B. durch „Kern-Spaltung“).

VOM ENDE DES DETERMINISMUS

William Rowan Hamilton (Irischer Mathematiker und Physiker, 1805 – 1865) schrieb die **Newtonsche Mechanik** 1834 in Form einer „**Operatorgleichung**“ nieder. Diese besagt: *Ist der Zustand eines Systems zu irgend einer Zeit t_0 bekannt, so ist er zu jeder Zeit t eindeutig bestimmt:* **Determinismus in Reinform!!**

Werner Heisenberg (Deutscher Physiker, 1901 – 1976) (Nobelpreis 1932) Schrieb 1925 in **mathematischer Form** eine allgemeine Quantenphysik nieder: die **Heisenbergsche Matrizenmechanik**. Im Jahr 1927 fand er die **Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation**:

$$\Delta p \times \Delta q > h / 4\pi \quad (h = \text{Planksches Wirkungsquantum}).$$

Bedeutung: *Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens lassen sich nicht gleichzeitig beliebig genau messen!* **Determinismus beendet!!**

Erwin Schrödinger (Oestereichischer Physiker, 1887 – 1961) (Nobelpreis 1933) formulierte 1925 die **Schrödingersche Wellenmechanik**, die mathematisch zur **Heisenbergschen Matrizenmechanik äquivalent** ist, und die das Ende des Determinismus ebenfalls besiegelt.

Albert Einstein beliebte am Determinismus festzuhalten:

„Der Alte (Gott) würfeln nicht!“

DIE TEILCHEN-WELLEN-NATUR DES ELEKTRONS

Louis-Victor de Broglie (Französischer Physiker, 1892 -1987) veröffentlichte 1924 eine **Wellentheorie der Materienteilchen**, zu deren Nachweis er die **spezielle Relativitätstheorie Einsteins** mit dem **Planckschen Quantenwirkungsgesetz** verband. (Nobelpreis 1924). Es ergibt sich die **Teilchen-Wellen-Doppelnatur des Elektrons**. Planck reagierte skeptisch auf „diese kühne Art der jungen Leute, mit der Physik umzugehen“. Einstein reagierte begeistert auf den „kühnen Ansatz de Broglies“.

Grundidee de Broglies: Das *Plancksche Wirkungsgesetz* $E = h \times f$ gilt nicht nur für Photonen sondern für alle Teilchen, die Wellen-Natur haben können. Für ein solches Teilchen der Masse m gilt nach der *Speziellen Relativitätstheorie* $E = m \times c^2$ (c = Lichtgeschwindigkeit). Es folgt $h \times f = m \times c^2$, also $f = (m \times c^2) / h$ für die *Frequenz der Welle, die unserem Teilchen entspricht*. Dies wurde später für das Elektron im Experiment bestätigt.

Trotz dieser von de Broglie vorgenommenen „**Vermählung der Quantenphysik mit der Relativitätstheorie**“ blieb Einstein gegenüber der Quantentheorie skeptisch und hielt daran fest, dass „*der Alte nicht würfelt.*“ An der **Solvay-Konferenz** 1930 in Brüssel (Solvay war belgischer Geschäftsmann und „Physik-Mäzen“) „stritten“ Einstein und Bohr, weil Bohr proklamierte, die Energie und die Zeit eines Teilchens seien nicht gleichzeitig genau zu bestimmen: das **Bohrsche Komplementaritäts-Prinzip**.

EINSTEIN \longleftrightarrow BOHR

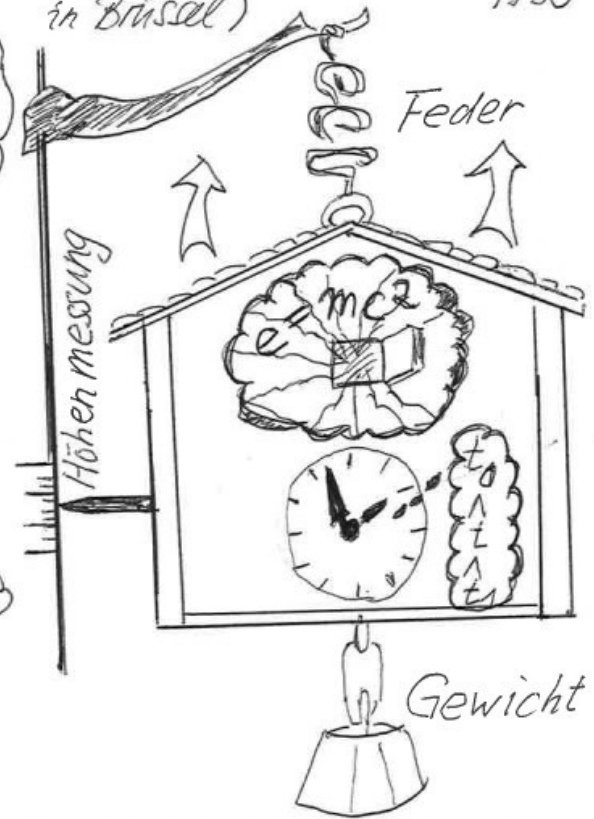
Die Quanten-Kuckucks-Uhr (Frei nachgezählt gemäss Berichten über die Solvay-Konferenz (1927-) 1930 in Brüssel)

{ Verehrter Kollege Bohr! Zur Zeit t_0 öffnet die Uhr die Klappe und Energie strömt aus. Gemäss meiner speziellen Relativitätstheorie (SR) wird die Uhr leichter und steigt auf. Genau zur Zeit t_1 ($> t_0$) schliesst die Uhr die Klappe und nach der SR können wir aus der Aufstiegshöhe der Uhr die in der Zeit $t_1 - t_0$ ausgestrahlte

Energie genau bestimmen!

Einverstanden,

Kollege Einstein...



... Nur verliert die Uhr beim Aufsteigen im Gravitationsfeld Energie und geht deshalb - nach Ihrer allgemeinen Relativitätstheorie (AR) - langsamer! Die Zeit t_1 der Uhr ist also nicht mehr Ihre Zeit t_1 , werter Kollege!

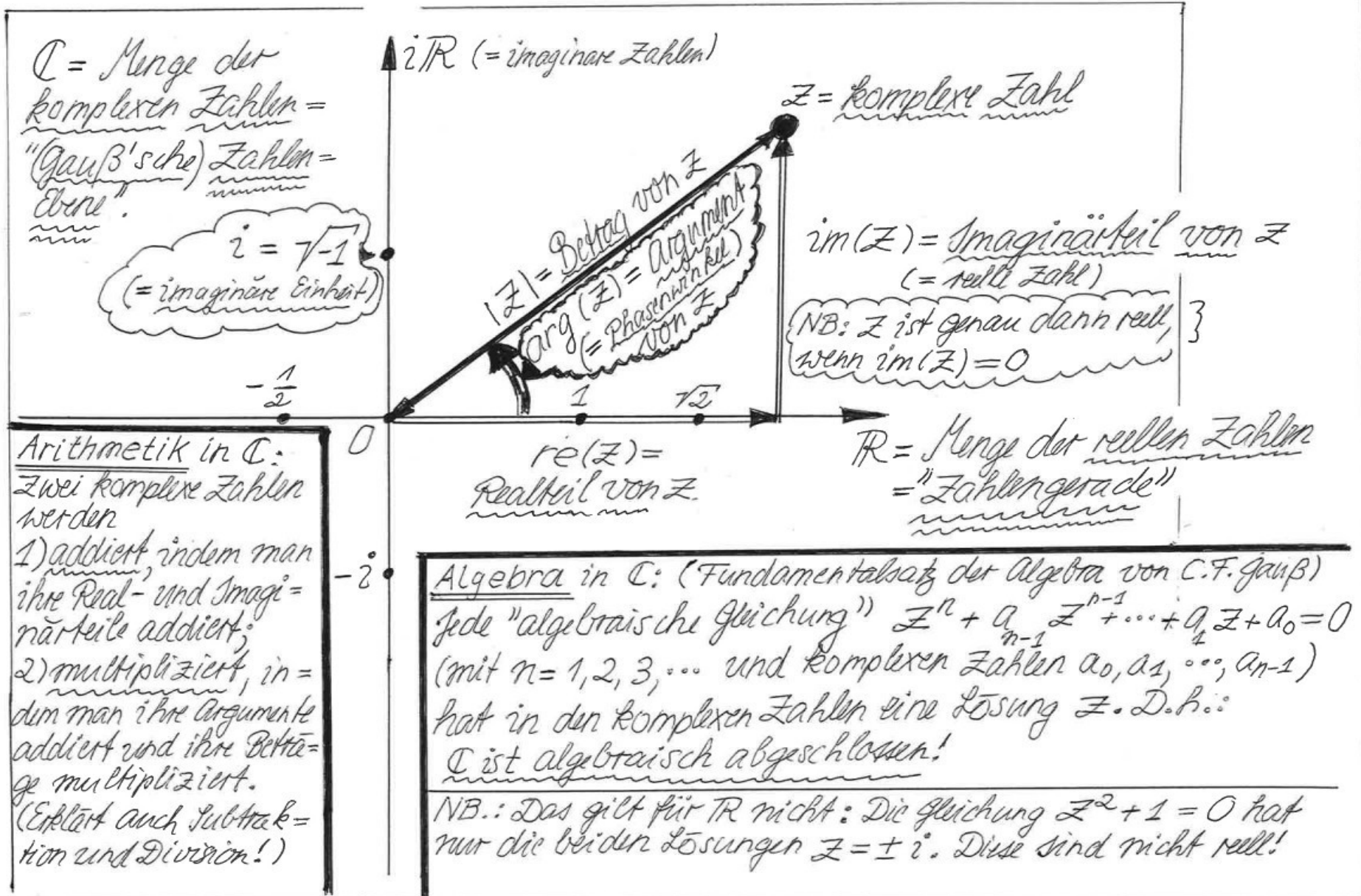


Der "Unbestimmtheits-
Frei" Einstein - Bohr:

Bohr: Zeit und Energie eines Systems lassen sich nicht genau miteinander bestimmen!

Einstein: Unsinn!

SCHROEDINGERS GLEICHUNG: MATHEMATISCHES



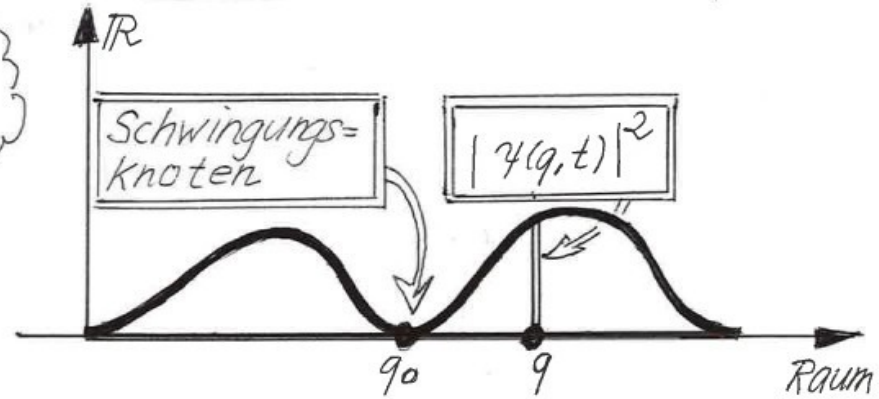
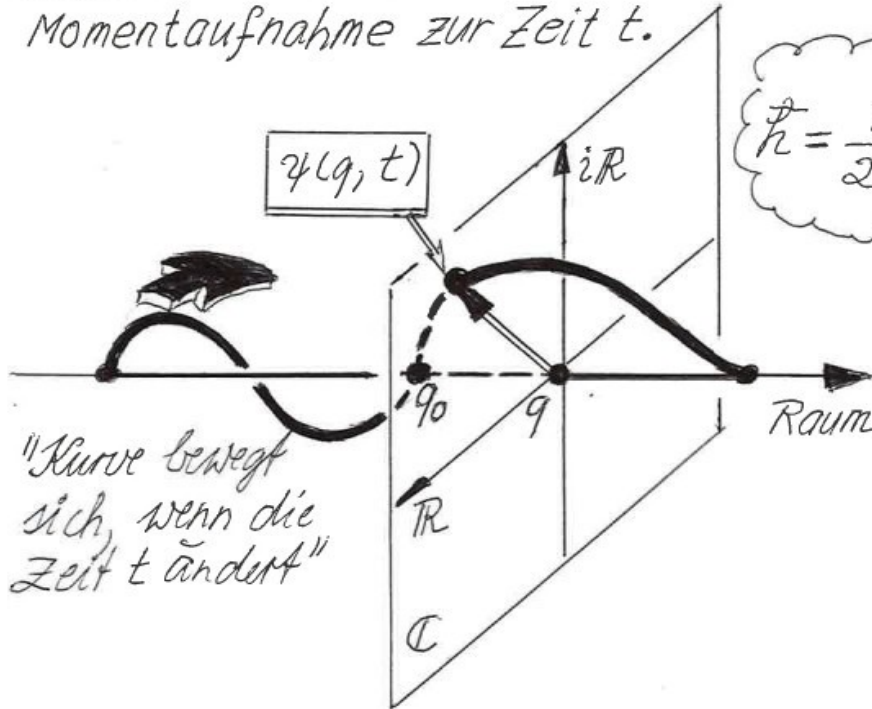
... ZUR WELLEN-TEILCHEN-DOPPELNATUR

$\hat{H}\psi(t) = i\hbar \dot{\psi}(t)$ (E. Schrödinger, 1926) \hat{H} = Hamilton-Schrödinger-Operator
 $\psi(t)$ = komplexwertige Wellenfunktion

Beispiel: Bewegung eines Elektrons e im Atom.

Momentaufnahme zur Zeit t .

e = Teilchen $\hat{=}$ Welle
 (De Broglie 1924)



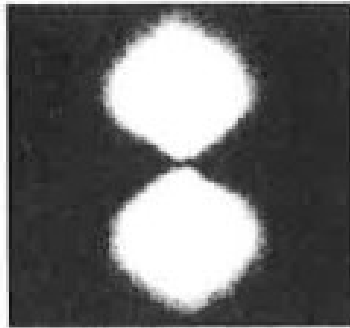
- $|\psi(q, t)|^2$ gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an "dass sich das Teilchen e zur Zeit t in q aufhält!"
- e kann sich nie in einem Knoten aufhalten.

Welle

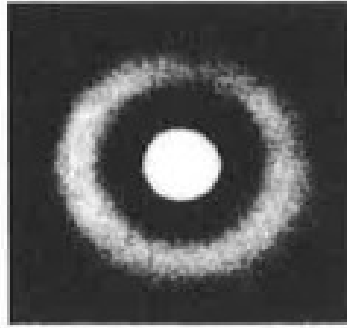


Teilchen

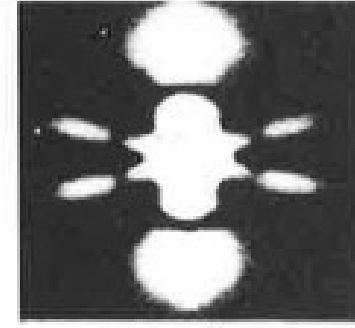
ELEKTRONEN- ORBITALE IM ATOM



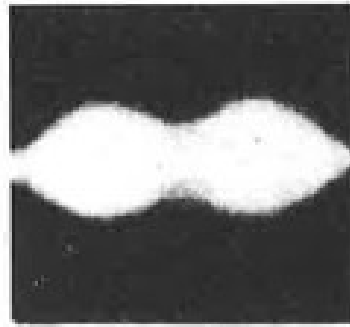
$2p \quad m=0$



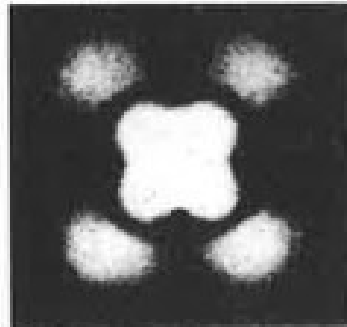
$2s \quad m=0$



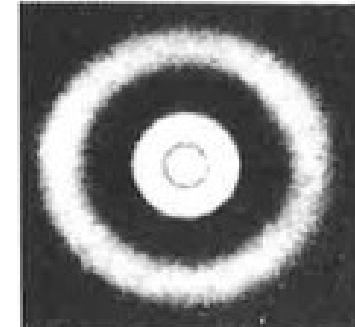
$5f \quad m=0$



$4f \quad m=3$



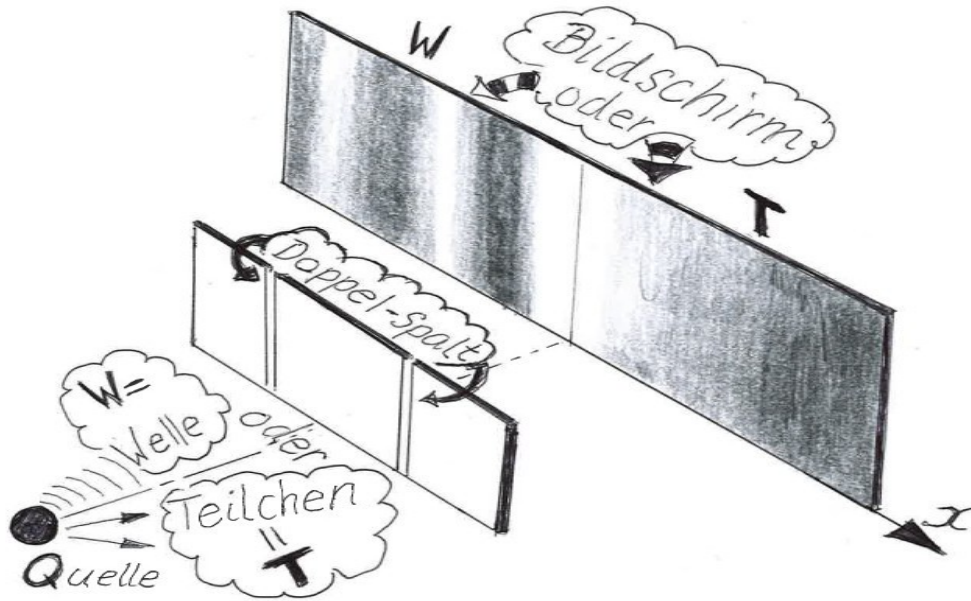
$4d \quad m=1$



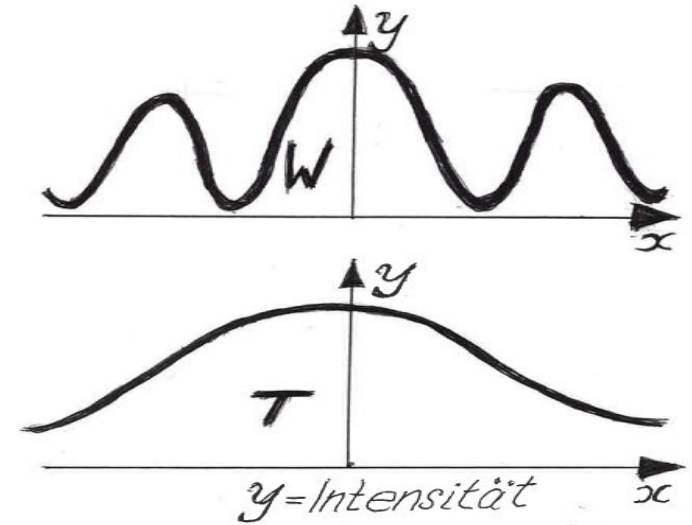
$3s \quad m=0$

Die **Orbitale** eines Elektrons im Atom entsprechen den verschiedenen Energiezuständen dieses Elektrons (mathematisch: den „Eigenlösungen der Schrödingerschen Wellengleichung zu den verschiedenen Eigenwerten“). Man kann sich diese Orbitale als „Wolken“ vorstellen, welche an jedem Ort im Raum die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons angeben. In den obigen (mit Hilfe eines Computers berechneten) Bildern sind Orte mit grosser Aufenthaltswahrscheinlichkeit hell eingezeichnet.

DAS OFFENE RAETSEL AM DOPPELSPALT



Intensitäts - Diagramme



Quelle emittiert

„Bombardement“ makroskopischer Teilchen

Licht (Thomas Young 1802)

„Bombardement“ von Elektronen (Wellennatur !)

Einzelnes Elektron

Einzelnes Elektron in kurzwelligem Licht (Einstein)

Typ des Diagramms

T

W

W

W (!)

T (!!)

GOTT SPRACH: ES WERDE LICHT. UND ES WURDE LICHT (GEN 1,3).

Platon (Griechischer Philosoph, 428 – 347 v. Chr.): „Die geheimnisvollen Gebilde der Atome bestehen aus rechtwinkligen Dreiecken, die sich zu grösseren Gestalten zusammenfügen lassen.“ (Gelesen in griechisch 1918 vom Gymnasiasten Werner Heisenberg auf dem Dach eines Priesterseminars in München, wo er als zugeteilter Hilfsschütze während der Nachkriegswirren einquartiert war.)

Werner Heisenberg: „Diese unmittelbare Verbindung mit der Wahrheit oder, wie man im christlichen Sinne sagen kann, mit Gott, ist die neue Wirklichkeit, die nun anfängt stärker zu werden als die Wirklichkeit der Welt, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen.“ // „Gott kann uns so gegenwärtig sein wie die Seele eines anderen Menschen“. (Bekenntnisse Heisenbergs im reifen Alter, aus: „Der Teil und das Ganze“, Piper Verlag, 1969; zitiert nach D. Hattrup: „Gottbekenntnisse grosser Naturforscher“, Paulinus Verlag, 2022)

Persönliches Fazit: Die auf der Abstraktion von Sinneseindrücken beruhenden physikalischen Begriffe (Teilchen, Welle, etc.) können nicht erklären, „was die Welt im Innersten zusammenhält“. Nicht die Dinge haben das letzte Wort, sondern die Gesetze, denen die Dinge gehorchen - Gesetze, die in der keiner materiellen Beschränkung unterworfenen Sprache der Mathematik formuliert sind. Und diese Gesetze entspringen dem Logos, dem Wort dessen, der sprach: „Es werde“. Und sie tragen Seine Handschrift - die Handschrift eines allmächtigen, aber zugleich auch fürsorglichen und liebenden Gottes, der jedes Seiner Geschöpfe trägt und hält.

ANKLINGENDE VERSE AUS DER HEILIGEN SCHRIFT

„Seit der Erschaffung der Welt wird Seine (d.h. Gottes) unsichtbare Wirklichkeit an den Werken der Schöpfung mit der Vernunft wahrgenommen, Seine ewige Macht und Gottheit“ (Röm 1, 20).

„Mein Vater ist noch immer am Werk und auch Ich bin am Werk“ (Joh 5, 17).

„Der Geist ist es, der lebendig macht, das Fleisch nützt nichts“ (Joh 6, 63).

„Jesus sah sie an und sagte: Für Menschen ist das unmöglich, aber nicht für Gott; denn für Gott ist alles möglich“ (Mk 10, 27).

„Denn wir wissen, dass die gesamte Schöpfung bis zum heutigen Tag seufzt und in Geburtswehen liegt“ (Röm 8, 22).

„Denn als ich umherging und mir eure Heiligtümer ansah, fand ich auch einen Altar mit der Aufschrift: EINEM UNBEKANNTEN GOTT. Was ihr verehrt, ohne es zu kennen, das verkünde ich euch“ (Apg 17, 23).

„Was ist der Mensch, dass Du an ihn denkst, des Menschen Kind, dass Du Dich seiner annimmst? Du hast ihn nur wenig geringer gemacht als Gott, hast ihn mit Herrlichkeit und Ehre gekrönt. Du hast ihn als Herrscher engesetzt über das Werk Deiner Hände, hast ihm alles zu Füßen gelegt“ (Ps 8, 5 – 7).

„So hoch der Himmel über der Erde ist, so hoch erhaben sind Meine Wege über eure Wege und Meine Gedanken über eure Gedanken“ (Jes 55, 9).