

Äther und Schrödingers Wellenfunktion ψ

von
Gerhard Zwiauer

8. Mai 2020 *

Zusammenfassung [†]

Es soll gezeigt werden, dass die „ominöse“, bis heute umstrittene Wellenfunktion ψ **nicht nur** als Amplitude von Wahrscheinlichkeits-Wellen ohne jegliche physische Basis (weder materieller noch energetischer Art) gedeutet werden kann, **sondern auch** als normierte, quantitative Beschreibung der elektromagnetischen Felder eines (Äther-) Trägermediums, im Einklang mit den Maxwell-Gleichungen und den (bis heute weltweit unterdrückten) ursprünglichen Vorstellungen von Erwin Schrödinger.

Ein Ansatz zu neuer Ätherforschung

Die Gretchenfrage der Quantenmechanik.

Kann auf eine Atomtheorie gehofft werden, die die Kopenhagener Deutung **vermeidet**?

Antwort eines ausgewiesenen „Quanten-Experten“:¹

Im Prinzip ja, aber – dann müssten jedoch **alle** gegenwärtigen Quantenfeldtheorien, die den Aufbau der Materie so gut wiedergeben, **aufgegeben** werden.

Als Ergänzung zur Kopenhagener Deutung von ψ – und im Einklang mit Erwin Schrödingers ursprünglicher Auffassung² – wird hiernach die folgende These vertreten und erläutert:

Die *psi*-These

Schrödingers **Wellenfunktion ψ** bedeutet den **elektromagnetischen Feldzustand** des allgegenwärtigen **Äthermediums**.

Erwin Schrödinger: der „heimliche“ Ätherphysiker.

Erwin Schrödinger war – mit Sicherheit – ein restlos „überzeugter Ätherphysiker“, lebenslang.

Diese Feststellung ist eine heutzutage praktisch unbekannte Tatsache, die aber sehr leicht zu verstehen ist, denn Schrödinger arbeitete ein ganzes Jahrzehnt als **Assistent** von Franz **Exner** (1910 bis zu Exners Emeritierung 1920)³ und betreute in diesem Rahmen u.a. des-

* **Korrigierte Version** 2.1 vom 20. Mai 2020.

[†] **cc-Copyright: nd** Dies **bedeutet** u.a.:

Verbreitung (zwecks Diskussion) ist **erwünscht** (v.a. im Internet). **Veränderungen** (jeder Art) sind jedoch **untersagt**.

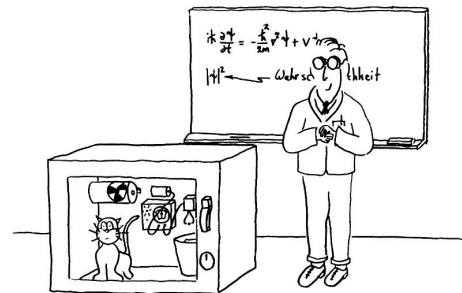
¹ **Frage** u. Antwort von **Helmut Rechenberg** (1937-2016) in: Meyenn (1998), (15), 2. Bd.: Quantenfelder und Kausalität, S. 299-300.

² Kumar (2009), (12), „Ein später erotischer Ausbruch“, S. 257.

³ Moore (2012), (16), Der Hochschulstudent, S. 52, Doktorarbeit, S. 59, Assistentenstelle, S. 62

Robert B. Laughlin zu Schrödingers Katze:

Die Lächerlichkeit mancher Ideen ist offensichtlich.



Laughlins Illustration des Problems der Schrödinger-Katze.

Aus dem Buch: Laughlin (2005) *A Different Universe*

Bild von Chapter 5: *Schrödingers Cat*, p. 47-57

dt.: Laughlin (2007), (13), *Das Ende der Weltformel*, S. 83-98, (in der dt. Übersetzung nicht dargestellt).

sen Studenten, für die Prof. Exner **jedes Jahr neunzehn** voll ausgearbeitete **Vorlesungen über Ätherphysik** hielt.⁴

In diesem Sinne verfasste Schrödinger damals auch u.a. eine grosse **Abhandlung über Dielektrika**, „selbstverständlich“ (damals noch) auf der Grundlage eines **Äthers**.⁵

Ab etwa 1920 äusserte sich Schrödinger kaum mehr zu diesem „heiklen“ Thema, denn ab dann,⁶ (spätestes) galten klassisch mechanischen Äthertheorien allgemein als überwunden, widersprüchlich, usw.⁷

⁴ Diese neunzehn Vorlesungen sind ausführlich dokumentiert. Siehe: Exner (1919), (7), Physik Vorlesung.

⁵ Schrödinger (1914), (20), „Die Maxwellsche Theorie der Dielektrika“, S. 157.

⁶ 1909 z.B. schon Einstein (1909), (6), Zum ... Strahlungsproblem, S. 718. – **Ätherhypothese**: ein **überwundener** Standpunkt.

⁷ Massgeblich beeinflusst wurde diese Auffassung um 1920 (a) von der Naturforscherversammlung in Bad Nauheim am 23. Sept. 1920, siehe Wazeck (2009), (26), 3.2.2 Anschaulichkeit, S. 183-190, und (b) vom 1920 erschienenen Buch (viele Neuauflagen): Born (1920), (2), siehe z.B. 15. Die Kontraktionshypothese, S. 192-193.

Trotzdem blieb Schrödinger Zeit seines Lebens „äthergläubig“, in späteren Jahren v.a. im Sinne von Einsteins allgemein-relativistischer Feldtheorie.⁸

Das grosse ψ -Rätsel.

Eingeführt wurde Schrödingers ominöse Wellenfunktion ψ 1926.⁹ Trotzdem ist deren Bedeutung bis heute eines der grössten Rätsel der Physik, insbesondere die Tatsache, dass ψ mit den sonderbar komplexen Zahlen beschrieben werden muss. So wurde u.a. sogar schon behauptet, der Imaginärteil von ψ sei ohne physikalische Bedeutung.¹⁰

ψ galt – und gilt bis heute – als etwas Ungreifbares, sogar Geisterhaftes, v.a. aber Unmessbares. Heisenberg befand Schrödingers Theorie sei „Mist“, tatsächlich. In diesem Sinne wurde damals auch das folgende, oft zitierte Spottgedicht zu „Ehren Erwins“ verfasst:¹¹

Gar Manches rechnet Erwin schon
Mit seiner Wellenfunktion.
Nur wissen möcht' man gerne wohl
Was man sich dabei vorstell'n soll.

Schliesslich wurde Schrödingers Wellenfunktion als „**komplexwertige Wahrscheinlichkeits-Welle**“ gedeutet – das ist ein abstrakte Welle, die sich **nicht** im **normalen** dreidimensionalen Raum bewegt.¹²

Der Entscheid zu Gunsten dieser, von Max Born (an der Solvay Konferenz 1927) vorgeschlagenen Definition erfolgte gegen den **massiven** Widerstand von **Schrödinger**, de Broglie, Bohm, **Einstein**, u.a.¹³

Trotzdem gilt sie **bis heute als einzige** offiziell anerkannte Definition, sodass an praktisch allen Universitäten – weltweit – bis heute gelehrt wird:¹⁴

Schrödingers Wellenfunktion ψ bedeutet, die Amplitude der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons.¹⁵

Das Problem der „Schrödinger Katze“ ist z.B. unmittelbare Folge dieser „Wahrscheinlichkeits“-Deutung¹⁶ (auch Messproblem genannt), bei dem es um die bis

⁸ Dies zeigt u.a. Schrödingers private Korrespondenz mit Born, Einstein u.a. sehr deutlich. Siehe Meyenn (2011), (23), Div. Auszüge von Briefen – Ab 1917 waren diese Vorstellungen jedoch vermutlich von *relativistischer Art* und endeten etwa drei Jahrzehnte später – dann von ihm *Affine Feldtheorie* genannt – auf *abrupte* Weise, ohne jegliche Weiterentwicklung. Siehe Moore (2012), (16), Allgemeine Relativität (ab 1917), S. 100-101 – **Das Einstein-Debakel** (um 1946) und die „**Einstein-Schweinerei**“, S. 368-373

⁹ Schrödinger (1926), (21), Quantisierung als Eigenwertproblem.

¹⁰ Gassner/Müller (2019), (9), 7.10 Zeitabhängige Schrödingergl., S. 382 / Einschub: Komplexe Zahlen, S. 389.

¹¹ Kumar (2009), (12), Die Wirren um Schrödingers ψ , Mist: S. 262, Gedicht: S. 264, Geisterhaftes: S. 274.

¹² Kumar (2009), (12), „Ein später erotischer Ausbruch“, S. 271 – und: Die Bellsche Ungleichung, S. 402.

¹³ Kumar (2009), (12), **Einwände gegen die Kopenhagener Deutung von ψ** , S. 10, Bild 23, 304-305, 314, 318-321, 327, 333, 335, 337, 340, 347, usw., usw.

¹⁴ Bleck-Neuhaus (2013), (1), Der „**überzeugende Beleg**“ für die Wahrscheinlichkeits-**Deutung** der Wellenfunktion ψ , S. 156, Fn. 56: Dieser Fehlschluss liegt nicht fern, S. 205.

¹⁵ Meschede (2010), (14), 15.1.2 Quanten-Fluktuationen stabilisieren die Atome, S. 717 / 15.2.2 Schrödinger-Gleichung, S. 719. / Interpretation als Wahrscheinlichkeitsamplitude, S. 722.

¹⁶ Gassner/Müller (2019), (9), Schrödingers Katze, S. 338.

heute offene Frage geht:¹⁷ Wann, wo und wie kollabiert die Wahrscheinlichkeitswelle – bzw. ψ ?¹⁸

Erstaunlicherweise ist und blieb die Schrödinger-Gleichung bisher unverzichtbar und wurde u.a. **Prototyp aller** quantenmechanischen Wellengleichungen.¹⁹

Schrödingers ursprüngliche, intuitive Herleitung.

Der eigentliche Ursprung der weltweit gerühmten Schrödinger-Gleichung war Schrödingers Vorstellung, dass Atome Schwingungssysteme sind, deren Elektronen in sphärischer **Resonanz mit dem Äthermedium** um deren Kern schwingen.²⁰

Den entscheidenden Anstoss dazu liefert die Dissertation von de Broglie,²¹ wonach Schrödinger – wie Schrödingers Notizbücher belegen – die gesuchte **neue** Wellengleichung zunächst mittels der **gewöhnlichen** Wellengleichung und der bis heute unerklärten de Broglie Beziehung $p = h/\lambda$ „**rein klassisch**“ herleitete. Diese Herleitung wird heutzutage kaum gezeigt,²² weshalb sie hier kurz wiedergegeben wird.

Ausgangspunkt ist die klassische Gleichung für Wellen aller Art (Schallwellen, elektromagn. Wellen, usw.)

$$\nabla^2 \Phi - \frac{1}{c^2} \ddot{\Phi} = 0. \quad (1)$$

Für harmonische Wellen (linear elastischer Art) gilt dann $\Phi = e^{i\omega t}$, $\dot{\Phi} = i\omega e^{i\omega t}$ und $\ddot{\Phi} = -\omega^2 e^{i\omega t}$.

Allgemein gilt per Definition: $c = \lambda v$, $k = 2\pi/\lambda$ und $\omega = 2\pi v$, also $c = \omega/k$, und damit $1/c^2 = k^2/\omega^2$.

In (1) eingesetzt ergeben diese beiden Beziehungen die sog. **zeitunabhängige** Wellengleichung:²³

$$\nabla^2 \Phi + k^2 \Phi = 0. \quad (2)$$

Aus der Gesamtenergie aller mechanischen Systeme $E = T + V = (mv^2/2) + V = (p^2/2m) + V$ folgt $p^2 = 2m(E - V)$.

Aus de Broglies Wellenlänge $\lambda = h/p$ und $k = 2\pi/\lambda$ folgt $k^2 = 4\pi^2 p^2/h^2$.

Diese beiden Beziehungen zusammen ergeben dann $k^2 = (4\pi^2 2m(E - V))/h^2$.

Einsetzen von k^2 in die Wellengleichung stehender Wellen (2), ergibt (mit Ersatz von $\Phi \rightarrow \psi$) sofort die **zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung** – wobei 'as' für Atomsystem steht, und Φ_{ee} für das el. Potential.

$$\nabla^2 \psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E_{as} - \Phi_{ee}) \psi = 0 \quad (3)$$

¹⁷ Mehrere Bücher wurde dazu verfasst, z.B. David Peat (1997) Who is afraid of Schrödinger's Cat?

¹⁸ Kumar (2009), (12), Solvay 1927, S. 323-324. / siehe auch Gassner/Müller (2019), (9), **Kann man die Quantenmechanik auch anders verstehen**, S. 400-406.

¹⁹ Meyenn (1998), (15), 2. Bd.: Schrödingers Wellenmechanik, Quantenfeldtheorie und Kausalität, S. 296-300.

²⁰ Schrödinger (1926), (21), Quantisierung als Eigenwertproblem: Die Vorstellung, dass die Elektronen von Atomen schwingen, S. 375.

²¹ Kumar (2009), (12), der Dualitäts-Prinz, S. 186-189 – und: Ein später erotischer Ausbruch, S. 254-255.

²² Eine seltene Ausnahme ist das Buch von Goldstein, jedoch **nur die Auflage (1972)**, (10), 9-8 Wellenmechanik, S. 346-347.

²³ Sommerfeld (1969), (25), Band 2: I. 1.1.11 Das Fundament der Wellenmechanik, S. 5. **Gl. (11)**.

Die Lösung des ψ -Rätsels.

Der Grundzustand des Äthers, den **Schrödinger** ursprünglich (sicherlich noch 1926)²⁴ vorausgesetzt, sei z_0 genannt. Abweichungen von z_0 verursachen unterschiedliche skalare Potentiale Φ_i , deren Gradienten Feldvektoren F_i heissen. Alle Φ_i und F_i können mittels der dimensionslosen Raumfunktion $0 \leq \psi(x, y, z) \leq 1$ als $\Phi_i = \Phi_0 \psi$ bzw. $F_i = F_0 \psi$ dargestellt werden.

Die Ladung e von Elektronen ruft ein elektrisches Potential hervor, doch ihre Masse m tut dies **auch**,²⁵ die somit ein **ladungsbezogenes Massepotential** $\Phi_{me} = mc^2/e$ darstellt, das normale Nullpotential des Äthers erhöht und „besondere Atomwellen“ ermöglicht.

Mit Φ_{me} ergibt (3) folgende „Atomwellen“-Gleichung:

$$-\nabla^2(\Phi_{me}\psi) = -\frac{\hbar^2}{8\pi^2m}\nabla^2\psi = (E_{as} - \Phi_{ee})\psi \quad (4)$$

Rechts in (4) steht die kinetische Energie der **Materiewellen** (Differenz von Gesamtenergie des Atom-Systems E_{as} und elektrostatischem Potential Φ_{ee}), deren Amplitude gemäss ψ im Raum (v.a. radial) variiert.

Links in (4) steht der negative **Gradienten-** bzw. **Kraftanstieg** der die **Atomwellen** des Äthers (gemäss dem Massepotential $\Phi_{me} \psi$) der eingebrachten Elektronenmasse m) antreibt.

Die übliche **elektromagnetische Energiedichte** e verursacht, **auch im Inneren** von Atomen, keinerlei Veränderung. Dies können nur die Kraftfelder E und H **gemäss den Maxwellgleichungen**.²⁶ Entsprechend ist e eine Funktion dieser beiden Felder (E und H).

Die für elektromagnetische Wellen (z.B. des Lichts) bedeutsame **Energiedichte** e der Felder E und H – auch jene innerhalb von Atomen – kann (und auch wird oft), die Beziehungen $D = \epsilon_0 E$ und $B = \mu_0 H$ berücksichtigend, durch die beiden Vektoren E und H wie folgt dargestellt werden:²⁷

$$e = \frac{1}{2} (ED + HB) = \quad (5)$$

$$= \left(\sqrt{\frac{\epsilon_0}{2}} E \right)^2 + \left(\sqrt{\frac{\mu_0}{2}} H \right)^2 = \frac{\epsilon_0}{2} E^2 + \frac{\mu_0}{2} H^2 \quad (6)$$

Da die beiden vektoriellen Felder \vec{E} und \vec{H} (nach Maxwells Gleichungen) grundsätzlich **senkrecht zu einander** stehen, kann der **Gesamt-Zustand** des Feldes auch als **komplexwertige** Feldvariable $\psi(E, H)$ der beiden Feldstärken E und H gemeinsam dargestellt werden (**Achtung:** „irreal komplexe“ **physikalische** Einheit!):

$$\psi = \left(\sqrt{\frac{\epsilon_0}{2}} E + i \sqrt{\frac{\mu_0}{2}} H \right) / \sqrt{\Phi_{me}} \quad (7)$$

²⁴ Schrödinger liess es sich nicht nehmen, in seiner „**Heisenberg-Arbeit**“ (vom März 1926) **zwei Mal ausdrücklich** auf **Ätherwellenlängen** Bezug zu nehmen. Siehe dazu Schrödinger (1926), (22), *Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen* – Schlussteil der Abhandlung, S. 755-756.

²⁵ Feynman erwog eine **inverse Möglichkeit** – siehe Feynman (1972), (8), **3. Band**, 28.3 **Elektromagnetische** Masse, S. 520-521.

²⁶ Eine der möglichen Darstellungen zeigen die Gleichungen (25) und (26) auf der nachfolgenden Seite 5.

²⁷ Meschede (2010), (14), 8.4.4 Energiedichte und Energieströmung, S. 448 – Erste (nicht nummerierte) Gleichung für e . – Unter Bezugnahme auf Gl. (7.36) oder (7.54) auf S. 334 bzw. 338 und Gl. (8.12), S. 400.

Das konjugiert-komplexe Produkt $\psi^* \psi$ (für ψ^2) ergibt dann für die Energiedichte $e(E, H)$ des Äthers (mit **korrekter, reeller physikalischer** Einheit $[E/Q]$):²⁸

$$e = \Phi_{me} (\psi \psi^*) = \Phi_{me} \psi^* \psi = \quad (8)$$

$$= \left(\sqrt{\frac{\epsilon_0}{2}} E + i \sqrt{\frac{\mu_0}{2}} H \right) \left(\sqrt{\frac{\epsilon_0}{2}} E - i \sqrt{\frac{\mu_0}{2}} H \right) \quad (9)$$

$$= \left(\sqrt{\frac{\epsilon_0}{2}} E \right)^2 + \left(\sqrt{\frac{\mu_0}{2}} H \right)^2 = \frac{\epsilon_0}{2} E^2 + \frac{\mu_0}{2} H^2. \quad (10)$$

Nach genau dieser mathematischen Methode konjugiert komplexer Multiplikation²⁹ – beziehentlich auf die **Wellenfunktion** Schrödingers $\psi(r, t)$ (nach Max Born) – wird die sog. **Wahrscheinlichkeits-Dichte** $P(r, t) = \psi^* \psi = |\psi(r, t)|^2$ berechnet.³⁰

Diese Analogie der Berechnungsmethode, sowie die Gleichheit der in (6) und (10) dargestellten Ergebnisse für e , ermöglicht die folgende Vermutung:

Schrödingers **Wellenfunktion** ψ kann **nicht nur** „ausschliesslich“ als **Wahrscheinlichkeits-Amplitude**³¹ ψ einer komplexwertigen **Wahrscheinlichkeits-Dichte** $P(\psi)$ von sog. **Wahrscheinlichkeits-Wellen** gedeutet werden;³² sondern **auch** – gemäss (7), und ganz im Sinne Schrödingers – als durch und durch **realer elektromagnetischer Zustand** des allgegenwärtigen materiellen Äthers, der elegant in Form einer einzigen Variablen $\psi(x, y, z, t)$, **komplexwertig zusammengefasst** und zu 1 normiert, mathematisch dargestellt wird.³³

Nun könnte argumentiert werden, dass die komplexwertige Zusammenfassung zweier Feldstärken von grundsätzlich unterschiedlicher Art unzulässig sei, denn damit würden „Äpfel und Birnen“ in einen „Topf“ geworfen – wobei Letzteres tatsächlich zutrifft. Diesbezüglich ist jedoch zu beachten, dass das Vorzeichen (+ oder -) von komplexwertigen Zahlen **keine Addition oder Subtraktion** bedeutet, sondern lediglich die Tatsache eines **gemeinsamen Wirkens** darstellen soll, in diesem Fall bezüglich Energie.

Worauf es im Rahmen von **Schrödingers** Wellenmechanik von Materiewellen wirklich ankommt, ist die **Energie** elektromagnetischer Felder, die sich – wie oben gezeigt wurde – als Ergebnis der üblichen konjugiert komplexen Multiplikation von Schrödingers komplexwertiger Wellenfunktion ψ völlig „legal“ und richtig ergibt.

Dieser Sachverhalt bedeutet u.a.: Die von de Broglie postulierten **Materiewellen**, die kurz danach von Schrödinger auch theoretisch erklärten wurden, sind

²⁸ Meschede (2010), (14), 8.4.4 Die Energiedichte, S. 448.

²⁹ Meschede (2010), (14), 14.6 Grundzüge der Quantenmechanik, siehe dort bezüglich Matrizen, Vektoren und Operatoren, S. 698.

³⁰ In diesem Sinne bedeutet $P(r, t)$ die Wahrscheinlichkeit, zur Zeit t am Ort r ein Elektron oder andere Teilchen zu finden. Siehe Meschede (2010), (14), 15.2.2 Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom, S. 719, und auch 15.6 Wie strahlen Atome, S. 740-742.

³¹ Meschede (2010), (14), 15.2.2 Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom, S. 719, eine Gleichung vor (15.8): ψ als Amplitude elektronischer Wahrscheinlichkeitsverteilung.

³² Aus Gründen experimenteller Bewahrung ist es unmöglich, die derzeit allein anerkannte sog. Kopenhagener Deutung nach Max Born zu bestreiten – für die Experimentalphysik ist sie sogar unverzichtbar.

³³ Genau dies besagt in Kurzform die **Psi-These** (auf Seite 1).

skalare Energiewellen mit völlig anderen Eigenschaften als die vektoriellen **elektromagnetische** Wellen.

Die Gleichungen Maxwells und Schrödinger beschreiben **unterschiedliche** Zustandsformen (des Äthers) – grob vergleichbar mit den Geschwindigkeits- und Temperatur-Feldern des selben Gases.

Dieser wesentlich Unterschied der beiden soeben betrachteten Zustände (des Äthers) zeigt sich sehr deutlich dadurch, dass Schrödingers „Wellenpakete“ – was fälschlicherweise oft bedauert wird – rasch zerfließen und damit unbeständig sind. **Ursache** dieses Umstands ist einfach, dass Schrödingers allgemeinere, **zeitabhängige** Wellengleichung³⁴ (für den Äther), den **Ausgleich** von Zuständen beschreibt, **nicht anders** als die gewöhnliche Diffusionsgleichung (für Gase und Flüssigkeiten).³⁵

Auch in den Atomen wirken elektromagnetisch Felder die Wellen unterschiedlicher materieller Stoffdichte in Form kleine Schwingungen (des Äthers) verursachen, ähnlich den Schallschwingungen in gewöhnlichen Stoffen. Die bei Schwingungen immer entstehenden Ansammlungen erhöhter Stoffdichte (hier des materiellen Äthers) können auch **als Massen** gedeutet werden, ganz im Sinne von **Einsteins** Vorstellung von **Materie**:

Materie ist dort, wo sehr viel Energie konzentriert ist; ein Feld ist dort, wo wenig Energie ist.³⁶

Eigentlich sollte es – im Einklang mit Einsteins sog. **Energie-Masse-Äquivalenz** $E = mc^2$ – heissen.³⁷

Masse ist dort, wo viel **Energie** ist – weil die **Grundlage** von beiden, von Feldern wie auch **aller** Massen, die **Materie** des allgegenwärtigen Äthermediums ist.

Dieser Möglichkeit des Verwechselns ist einer Folge der derzeit üblichen Weigerung massgebender Physiker, die Existenz eine **materiellen** Äthermediums **anzunehmen** bzw. **anzuerkennen**, sodass auch berühmte Physiker – nachweislich z.B. Einstein und Heisenberg – die Begriffe Masse und Materie oftmals „in einen Topf werfen“, was zu allgemeiner Verwirrung führt.³⁸

Die kaum bekannte „Maxwell-Dirac-Identität“.

Die Dirac-Gleichung stellt eine wesentliche Verbesserung der Schrödinger-Gleichung dar, doch wird diese theoretisch sehr bedeutsame Gleichung in vielen

³⁴ Meschede (2010), (14), 15.6.1 Atomare Antennen, S. 743, Gl. (15.47).

³⁵ Meschede (2010), (14), 6.5.5. Diffusion in Gasen und Lösungen, S. 278, Gl. (6.49).

³⁶ Infeld (1969), (11), Feld und Materie, S. 223.

³⁷ Meschede (2010), (14), 13.8.2 Der 4-Impuls, S. 649, nach Gl. (13.34), siehe auch S. 617 unten.

³⁸ Siehe Mutschler (2002), (17), 3.4 Der Begriff der Materie, S. 108-110 – Hier wird u.a. der Umstand bedauert, dass die Physik nicht weiss, genauer die **Physiker nicht wissen, was Materie ist**, was der Philosoph Stegmüller als „**Treppenwitz**“ des 20. Jahrhunderts bezeichnete. Schrödinger, Debye und andere berühmte Physiker verfassten lange Abhandlungen zu Thema **„Was ist Materie?“** doch eine schlüssige Antwort auf diese Frage fehlt bis heute. Siehe dazu z.B. Schrödinger (1953), (24), 8. Schlusswort, S. 145.

Lehrbüchern der Physik bestenfalls erwähnt.³⁹ Nur in Ausnahmefällen wird ihr eine ein ähnlich hohe Bedeutung zugeordnet, wie der weltberühmten Gleichung Schrödingers.⁴⁰

Deshalb soll hier zunächst ein knapper formaler Überblick zur Dirac-Gleichung gegeben werden um dann zu zeigen, dass sie (für den Fall $m = 0$) nichts anderes darstellt, als eine alternative Formulierung der Maxwell-Gleichungen für den leeren Raum bzw. Äther.

Die „originale“ Dirac-Gleichung.

Dirac wählte für seine relativistische Wellengleichung der Quantenmechanik die folgende, mathematisch sehr elegante und kompakte Formulierung:⁴¹

$$[p_0 + \rho_1(\sigma, \mathbf{p}) + \rho_3 mc] \psi = 0. \quad (11)$$

Dabei wurden die üblichen quantenmechanischen Operator-Definitionen für Impuls p und Energie $W (= p_0)$ (in der Ortsdarstellung) verwendet.

$$p = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x} \quad \text{und} \quad W = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}, \quad \text{mit} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (12)$$

Damit lautet diese relativistische Wellengleichung (11) für ein Elektron mit Ruhemasse m_0 – etwas weniger kompakt ausgedrückt:⁴²

$$\frac{h}{2\pi i} \left\{ a_1 \frac{\partial \Psi}{\partial x} + a_2 \frac{\partial \Psi}{\partial y} + a_3 \frac{\partial \Psi}{\partial z} - \frac{1}{c} \frac{\partial \Psi}{\partial t} \right\} + m_0 c a_4 \Psi = 0, \quad (13)$$

Die vier Ausdrücke $a_1 \dots a_4$ bedeuten die unmittelbar nachfolgend dargestellten vierreihige Dirac-Matrizen.⁴³

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & +i & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \\ +i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Diese vierreihigen Matrizen (14) und (15) sind komplexwertig und wurden erstmals von Dirac auf Grund ausgeklügelter *mathematischer* Überlegungen aus den folgenden drei zweireihigen Spin-Variablen σ_1, σ_2 und σ_3 abgeleitet.⁴⁴

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

³⁹ Ein typisches Beispiel ist das rund 1100 Seiten dicke Kompendium Meschede (2010), (14), Zwei Mal erwähnt: 4.5.2 Wellen im Kristallgitter; die Klein-Gordon-Gleichung, S. 183 – und 15.4.3 Feinstruktur im Einelektronen-Atom, S. 732.

⁴⁰ Musterbeispiel dafür ist das Standardwerk von Sommerfeld (1969), (25), Band 2: 4. Kapitel, Die Diracsche Theorie des Elektrons, S. 209-341, das sind 42 Seiten.

⁴¹ Dirac (1928), (5), § 2. The Hamiltonian for No Field, S. 615, – Gl. (9)

⁴² Schaefer (1937), (19) Relativist. Verallgem. d. Wellenmechanik: Diracsche Theorie, S. 451, Gl. (17)

⁴³ Schaefer (1937), (19) Relativist. Verallgem. d. Wellenmechanik: Diracsche Theorie, S. 451, Gl. (16)

⁴⁴ Dirac (1928), (5), Einführung S. 610 und § 2. The Hamiltonian

Die leere Dirac-Gleichung.

Wird nun in Diracs Gleichung der Form (13) der Parameter $m_0 = 0$ gesetzt, d.h. die Dirac-Gleichung ohne Elektron betrachtet, so ergibt sich die **leere Dirac-Gleichung**.

Weil die vier Dirac-Matrizen (14) und (15) jeweils vier Reihen aufweisen und von komplexwertiger Art sind, stellt die Dirac-Gleichung (13) ein System von vier komplexwertigen Gleichungen für vier komplexwertigen Komponenten $\Psi_1 \dots \Psi_4$ eines komplexen Wellenvektors Ψ dar.

Entsprechend lautet das (wegen $m_0 = 0$) „leere“ Gleichungssystem Diracs voll ausgeschrieben:⁴⁵

$$-\frac{1}{c} \frac{\partial \Psi_1}{\partial t} + \frac{\partial \Psi_4}{\partial x} - i \frac{\partial \Psi_4}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_3}{\partial z} = 0, \quad (17)$$

$$-\frac{1}{c} \frac{\partial \Psi_2}{\partial t} + \frac{\partial \Psi_3}{\partial x} + i \frac{\partial \Psi_3}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_4}{\partial z} = 0, \quad (18)$$

$$-\frac{1}{c} \frac{\partial \Psi_3}{\partial t} + \frac{\partial \Psi_2}{\partial x} - i \frac{\partial \Psi_2}{\partial x} + \frac{\partial \Psi_1}{\partial z} = 0, \quad (19)$$

$$-\frac{1}{c} \frac{\partial \Psi_4}{\partial t} + \frac{\partial \Psi_1}{\partial x} + i \frac{\partial \Psi_1}{\partial x} - \frac{\partial \Psi_2}{\partial z} = 0. \quad (20)$$

Diese vier komplexwertigen Gleichungen stellen nun – was einige Physiker überraschen mag – nichts anders als die Maxwellschen Gleichungen in fremdartigem Gewand dar.

Dies zeigt sich schon nach kurzer Rechnung, indem die vier Komponenten $\Psi_1 \dots \Psi_4$ durch die folgenden komplexwertigen Ausdrücke ersetzt werden:⁴⁶

$$\Psi_1 = i(\mathbf{E}_z) \quad \Psi_3 = (\mathbf{H}_z) \quad (21)$$

$$\Psi_2 = i(\mathbf{E}_x + i\mathbf{E}_y) \quad \Psi_4 = (\mathbf{H}_x + i\mathbf{H}_y) \quad (22)$$

Durch diese Substitutionen in (17) und (18) ergeben sich die folgenden Beziehungen:⁴⁷

$$\begin{aligned} & -i \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_z}{\partial t} + \left(\frac{\partial \mathbf{H}_x}{\partial x} + i \frac{\partial \mathbf{H}_y}{\partial x} \right) - \\ & -i \left(\frac{\partial \mathbf{H}_x}{\partial y} + i \frac{\partial \mathbf{H}_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial z} = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

und

$$\begin{aligned} & \left(-i \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial t} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_y}{\partial t} \right) + \\ & + \left(\frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial x} + i \frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial \mathbf{H}_x}{\partial z} + i \frac{\partial \mathbf{H}_y}{\partial z} \right) = 0 \end{aligned} \quad (24)$$

for No Field, S. 613 f bzw. Gl. (7[-1]) — Dirac war mit diesen Spin- oder Pauli-Matrizen – wie sie heute meist genannt werden – bestens vertraut, denn diese hatte er zusammen mit Pauli anlässlich einer Anfang 1927 in Kopenhagen stattgefundenen Diskussion selbst neu eingeführt um damit die drei Komponenten des Drehimpulses bzw. Spins von Elektronen beschreiben zu können. Pauli führte dieses Vorhaben unmittelbar danach in einer *nichtrelativistischen* Theorie durch, Dirac hingegen erst ein wenig später, dann aber im Rahmen seiner *relativistischen* Quantentheorie. – Siehe Dirac (1972), (4), *Recollections of an Exiting Era*, S. 138

⁴⁵ Schaefer (1937), (19)Relativist. Verallgem. d. Wellenmechanik: Diracsche Theorie, S. 455, Gl. (30)

⁴⁶ Schaefer (1937), (19)Relativist. Verallgem. d. Wellenmechanik: Diracsche Theorie, S. 456 Gl. (31)

⁴⁷ Schaefer (1937), (19)Relativist. Verallgem. d. Wellenmechanik: Diracsche Theorie, S. 456 Gl. (31a)

Nach Trennung der reellen und imaginären Anteile der beiden komplexwertigen Gleichungen (23) und (24) zeigen sich die folgenden vier reellwertigen und jedem Physiker bekannte Beziehungen, nämlich:⁴⁸

$$\frac{\partial \mathbf{H}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{H}_y}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial z} = 0; \quad \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial t} = \left(\frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial y} - \frac{\partial \mathbf{H}_y}{\partial z} \right)$$

und

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_y}{\partial t} = \left(\frac{\partial \mathbf{H}_x}{\partial z} - \frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial x} \right); \quad \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_z}{\partial t} = \left(\frac{\partial \mathbf{H}_z}{\partial x} - \frac{\partial \mathbf{H}_y}{\partial z} \right)$$

Nach Anwendung der gleichen Substitutionen (21) und (22) auf die beiden Gleichungen (19) und (20) nach dem selben Verfahren, ergeben die beiden letzten Gleichungen, zusammen mit sich mit (23) und (24), die bekannten vier Maxwell-Gleichungen für den leeren Raum (d.h. ohne Anwesenheit elektrisch geladener Körper.) Kurz: Es ergibt sich der **komplette** Satz der **leeren** Maxwellgleichungen in einer heutzutage üblichen Schreibweise:

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = 0; \quad \operatorname{div} \mathbf{H} = 0 \quad (25)$$

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -\operatorname{rot} \mathbf{H}; \quad \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = \operatorname{rot} \mathbf{E} \quad (26)$$

Dieser höchst bedeutsame physikalische Sachverhalt ist **keine** Neuheit, sondern (spätestens) **seit** 1937 in der **deutschsprachigen** Physikliteratur dokumentiert, sogar in einem bekannten (und hier bereits mehrfach zitierten) Lehrbuch der theoretischen Physik. Allerdings wird dort in einer ausführlichen Fussnote ausdrücklich davor gewarnt, dieses Ergebnis zu überschätzen.⁴⁹

Höchst selten sind einzelne Hinweise auf diesen wichtigen inneren Zusammenhang der quantenmechanischen und elektromagnetischen Erscheinungen auch in der **neueren** Literatur (1967) zu finden.⁵⁰

Die ominöse Komplexwertigkeit in der Physik.

Imaginäre Zahlen wurden sogar schon als magisch und übernatürlich bezeichnet. Tatsächlich sind sie einfach einer Folge der Tatsache, dass $(+1)(+1) = (-1)(-1) = +1$ gilt, sodass $\sqrt{-1} = \sqrt{+1}$ gelten müsste, was unmöglich ist.

Um mit Wurzeln mathematisch „logisch“ operieren zu können, musste also der Wurzel von -1 eine Zahl i mit „besonderer“ Bedeutung zugeordnet werden.

Die Einführung von i stellt eine zusätzliche, rein „mathematische Dimension“ dar, ohne jegliche physikalische Bedeutung.⁵¹ Deshalb können dem Ausdruck $\sqrt{-1}$ grundsätzlich unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet sein, **ohne** diese explizit zu benennen.

Notwendig ist nur, dass die Komponenten komplexwertiger Größen normal bzw. senkrecht zu einander stehen.

⁴⁸ Schaefer (1937), (19)Relativist. Verallgem. d. Wellenmechanik: Diracsche Theorie, S. 456 Gl. (31b)

⁴⁹ Der **erste Hinweis** kam schon **zwei Monate nach der Arbeit Diracs von Darwin (April 1928)**, (3), *Electromagnetic analogy*, S. 658. – Betreffend Überschätzung: Schaefer (1937), (19) Relativist. Verallgem. d. Wellenmech.: Diracsche Theorie, S. 456, Fussnote 1.

⁵⁰ **Sakurai** (1967), (18), *Derivation of the Dirac equation*, S. 80, Two-component Neutrino, S. 169, Eq. (3.465) / footnote ++

⁵¹ Siehe z.B. Taschenbuch der Mathematik von Bronstein et al, Verlag Harri Deutsch, 7. Auflage 2008: 1.5 Komplexe Zahlen, S. 35.

In Schrödingers ψ sind es E und H , im Fall von Diracs ψ_1 bis ψ_4 hingegen deren **Raumkomponenten**.⁵²

Fazit: Die Dirac-Gleichung entstand durch **komplexwertige Zerlegung** der Schrödinger-Gleichung.

Eine **entsprechende** Zerlegung von Schrödingers **Wellenfunktion** ψ in einen reellen und einen imaginären Teil ermöglicht das konjugiert komplexe „**Quadrat**“ von ψ als **skalaren Energiezustand** zu deuten. Dieser Sachverhalt ermöglicht dann eine **Erklärung** der experimentell nachgewiesenen Atomwellen, sowie der noch immer sehr rätselhaften ψ -**Materiewellen**:

Schrödingers Materiewellen sind (komplexwertig) **skalare Energiewellen** des allgegenwärtigen **materiellen Äthermediums**.

Literatur

- [1] Jörn Bleck-Neuhaus. *Elementare Teilchen – Von den Atomen über das Standard-Modell bis zum Higgs-Boson*. Springer Spektrum, Berlin, 2013, 2. Auflage. www.en.booksza.org/book/3ed5d5.
- [2] Max Born. *Die Relativitätstheorie Einsteins*. Springer, Berlin, (Erstauflage 1920). 5. unveränderte Auflage, 1969.
- [3] G.C. Darwin. The wave equations of the electron. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 118(780):654–680, Apr. 2, 1928. online unter http://www.QQL.ch/ref/Darwin_1928_Electron_Wave_Equation.pdf.
- [4] P. A. M. Dirac. *Recollections of an Exiting Era*. Academic Press, London, 1977. (Vortrag an Konferenz in Varenna 1972 – veröffentlicht 1977 in C. Weiner (Editor): *Storia della fisica del XX secolo*, S. 109-146).
- [5] P.A.M. Dirac. The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 117(778):610–624, Feb. 1, 1928. **online** unter http://www.QQL.ch/ref/Dirac_1928_The_Dirac_Equation.pdf.
- [6] Albert Einstein. 'Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems'. *Physikalische Zeitschrift*, 10(6):185–193, März 1909.
- [7] Franz Serfin Exner. *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Deuticke, Wien, 1919. – mit 19 voll ausgearbeiteten Vorlesungen über den Äther.
- [8] Richard Feynman. *Vorlesungen über Physik – In fünf Bänden*. Oldenburg, 2010. **Deutsche** Millenium Edition.
- [9] Josef M. Gasser and Jörn Müller. *Können wir die Welt verstehen? – Meilesteine der Physik von Aristoteles zur Stringtheorie*. S. Fischer Verlag, Frankfurt am Main, 2019. Auch **Online** auf **YouTube**: „Von Aristoteles zur Stringtheorie“.
- [10] Herbert Goldstein. *Klassische Mechanik*. Akademische Verlagsanstalt, Frankfurt, 1972, 2. unveränderte Auflage.
- [11] Leopold Infeld. *Leben mit Einstein – Kontur einer Erinnerung*. Europa Verlag, Wien, 1969. Originaltitel: *Sketches from the Past*.
- [12] Manjit Kumar. *Quanten – Einstein, Bohr und die grosse Debatte über das Wesen der Wirklichkeit*. Berlin Verlag, 2009.
- [13] Robert B. Laughlin. *Abschied von der Weltformel – Die Neuerfindung der Physik*. Piper, 2007. – Physik-Nobelpreis 1998.
- [14] Dieter Meschede. *Gerthsen Physik – Die ganze Physik zum 21. Jahrhundert*. Springer, Berlin und Heidelberg, 24. Auflage 2010.
- [15] Karl von Meyenn (Herausgeber). *Die Grossen Physiker*. C.H. Beck, 1998. **2 Bände**: 1. Von Aristoteles bis Kelvin, 2. Von Maxwell bis Gell-Mann.
- [16] Walter Moore. *Erwin Schrödinger – Eine Biographie*. Primus Verlag, Zürich – engl. Original, 1994 Cambridge Press, 2012.
- [17] Hans-Dieter Mutschler. *Naturphilosophie*. Grundkurs Philosophie 12. Verlag W. Kohlhammer, 2002.
- [18] J. J. Sakurai. *Advanced Quantum Mechanics*. Addison-Wesley, New York, 1967.
- [19] Clemens Schaefer. *Einführung in die theoretische Physik in drei Bänden – Band 3, Teil 2: Quantentheorie*. Walter de Gruyter, 1937. **Teil von Abschnitt 70** online unter http://www.QQL.ch/ref/Schaefer_1937_Maxwell_Dirac_Analogie.pdf.
- [20] Erwin Schrödinger. Dielektrizität. In *Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus*, pages 157–231. Barth, Leipzig, 1918.
- [21] Erwin Schrödinger. Quantisierung als Eigenwertproblem – Erste Mitteilung. *Annalen der Physik*, 79:361–376, 1926. als pdf im Internet.
- [22] Erwin Schrödinger. Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen. *Annalen der Physik*, 79:734–756, 1926. als pdf im Internet.
- [23] Erwin Schrödinger. *Eine Entdeckung von ganz ausserordentlicher Tragweite – Schrödingers Briefwechsel zur Wellenmechanik und zum Katzenparadoxon*. Karl von Meyenn [Hrsg.], Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [24] Erwin Schrödinger. *Unsere Vorstellungen von der Materie*. *Merkur*, (7):S. 131–145, Jg. 1953. – mit einer Präambel der Herausgeber.
- [25] Arnold Sommerfeld. *Atombau und Spektrallinien, Band 1 und 2*. Nachdruck:1978 Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt, (Original von Vieweg in 8 Auflagen 1919-1969).
- [26] Milena Wazeck. *Einsteins Gegner: die öffentliche Kontroverse um die Relativitätstheorie in den 1920er Jahren*. Campus Verlag GmbH, 2009.

⁵² Die Schrödinger-Gleichung betrifft eben eine skalare **Energie**, die Dirac-Gleichung hingegen **sechs** vektorielle **Impulse**.