

Norbert Olah

Einsteins trojanisches Pferd

Eine thermodynamische Deutung
der Quantentheorie



SpringerWienNewYork

 SpringerWienNewYork

Norbert Olah

Einsteins trojanisches Pferd

Eine thermodynamische Deutung
der Quantentheorie

SpringerWienNewYork

Dr. rer. nat. Norbert Olah

Düsseldorf, Deutschland

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Produkthaftung: Sämtliche Angaben in diesem Fachbuch/wissenschaftlichen Werk erfolgen trotz sorgfältiger Bearbeitung und Kontrolle ohne Gewähr. Eine Haftung des Autors oder des Verlages aus dem Inhalt dieses Werkes ist ausgeschlossen.

© 2011 Springer-Verlag/Wien

Printed in Germany

SpringerWienNewYork ist ein Unternehmen von

Springer Science+Business Media

springer.at

Satz: le-tex publishing services GmbH, 04229 Leipzig, Deutschland

Druck: Strauss GmbH, 69509 Mörlenbach, Deutschland

Gedruckt auf säurefreiem, chlorfrei gebleichtem Papier

SPIN: 8006260

Mit 12 Abbildungen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-7091-0805-5 SpringerWienNewYork

Für Rüdiger Bessenrodt

Vorwort

*Quidquid id est, timeo
Danaos et dona ferentis.
Vergil, Aeneis 2,49*

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Rüdiger Bessenrodt, Prof. Dr. Wolfgang Dau-
nicht und Prof. Dr. Karl Theodor Kalveram, von denen ich lernen durfte. Wertvolle
Hinweise, Unterstützung und anregende Gespräche verdanke ich Prof. Dr. Tobias
Schäfer, Dr. Ernst-Wolfgang Laedke, Dr. Frank Rosemeier, Dr. Raimund Pauen,
Dr.-Ing. Markus Lemmen, Dipl.-Ing. Klaus Theißen, Dr. Svenja Ettl, Dipl.-Mathe.
Stephanie Aslanidis, Dipl.-Mathe. Angela Schmitz, RA Bernhard Schmitz von der
Lohe, Dr. jur. Peter Neumann, Daniel Schily, Johannes Stüttgen, Wilm Kösters,
Dipl. Geogr. Olaf van Ackeren, Dr. Jochen Dresselhaus, Thomas Kimmel, Thomas
Heidlauf und Elisabeth Wegener.

Dem Springer-Verlag Wien danke ich für die Möglichkeit, als nichthauptberuffli-
cher Wissenschaftler zum wissenschaftlichen Diskurs beitragen zu können. Insbe-
sondere danke ich Mag. Judith Martiska und Stephen Soehnen für die wohlwol-
lende und entgegenkommende Betreuung. Prof. Dr. Carola Kryschi danke ich sehr
herzlich für die freundliche Übernahme des Reviews, meiner Mutter, Monika Olah,
für Illustrationen.

Mit großer Dankbarkeit blicke ich zurück auf das Verständnis meiner Kollegen
und Vorgesetzten der R&D Steuerungstechnik GmbH & Co. KG und der Siemens
AG (Automation & Drives), ohne das ein Gelingen nicht möglich gewesen wäre:
Dipl.-Ing. Reiner Rohde, Dipl.-Volkswirt Detlev Gunia, Dipl.-Ing. Johannes Jenne-
ßen, Dipl.-Ing. Norbert Stapper, Dipl.-Ing. Walter Häring, Dipl.-Ing. Stefan Peschke
und alle Kollegen, die aus voller Eiskasse „1000 mal zu spät“ für mich gesungen ha-
ben.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie, die mir meinen Weg ermöglicht hat:
Monika Olah, Margot Bruscha, Colette Maria Olah, Zsuzsanna Landsbergen, Dipl.-
Ing. Frans Landsbergen, Marita Schmidt und Dr. Hilde Dummer.

Düsseldorf, Mai 2011

Norbert Olah

Inhaltsverzeichnis

1	Quantenmechanik und Thermodynamik	1
1.1	Zielsetzung und Übersicht	2
1.2	Der Zusammenbruch der klassischen Physik	3
1.3	Der Siegeszug der statistischen Physik	4
1.4	Einsteins trojanisches Pferd	5
1.5	Deutungen der Quantenmechanik	6
1.6	Quantenthermodynamik	8
1.7	Das Paradox der Zeitumkehrinvarianz	10
2	Thermodynamik irreversibler Prozesse	13
2.1	Wahrscheinlichkeit und Entropie	14
2.2	Thermodynamische Lagrange-Funktionen	14
2.3	Das Prinzip der kleinsten Energiedissipation	15
2.4	Thermodynamische Stabilitätstheorie	16
2.5	Brown'sche Bewegung in einem Potential	19
2.6	Selbstorganisation und Entropieexport	20
3	Umdeutung der Schrödinger-Gleichung	23
3.1	Transformation des Quantenpotentials	24
3.2	Ableitung der Schrödinger-Gleichung	25
3.3	Superpotential und Riccati-Gleichung	26
3.4	De-Broglie-Bohm-Theorie	28
3.5	Dissipationsfreiheit der stationären Zustände	29
3.6	Feldtheoretische Lagrange-Dichten	30
4	Quanteneffekte und Entropiediffusion	33
4.1	Thermodynamische Stabilität und Nullpunktsenergie	34
4.2	Der harmonische Oszillator: Quantisierung	35
4.3	Das Wasserstoffatom: Quantenzahlen	38
4.4	Superposition und Bifurkation	43
4.5	Dekohärenz als Entropiemaximierung	46

5	Klassische Analogien	49
	5.1 Der Welle-Teilchen-Dualismus	50
	5.2 Das Korrespondenzprinzip	50
	5.3 Das Wirkungsprinzip	52
	5.4 Die Adiabatenhypothese	53
	5.5 Die Wahrscheinlichkeitsflüssigkeit	54
6	Die Unschärferelation	57
	6.1 Optische Analogie: Ähnlichkeitssatz	58
	6.2 Hydrodynamische Analogie: Brown'sche Bewegung	59
	6.3 Thermodynamische Analogie: Entropieaustausch	61
	6.4 Zweiter Hauptsatz und Messprozess	63
	6.5 Unschärfe und Nullpunktsenergie	64
	6.6 Strukturelle Stabilität und Nullpunktsenergie	65
7	Quantenlogik	67
	7.1 Klassische Logik	68
	7.2 Doppelspaltexperimente	68
	7.3 Komplementaritätslogik	69
	7.4 Zustandsräume und Projektoren	71
8	Quantenphilosophie	75
	8.1 Schrödingers Katze	76
	8.2 Komplementarität	77
	8.3 Akausalität	79
	8.4 Vollständigkeit	81
	8.5 Quantensprünge	82
	8.6 Dekohärenz	82
	8.7 Nichtlokalität	83
	8.8 Absoluter Zufall?	85
	8.9 Ensemble-Interpretation	87
9	Zusammenfassung	89
	Literaturverzeichnis	93
	Abbildungsverzeichnis	101
	Stichwortverzeichnis	103

Kapitel 1

Quantenmechanik und Thermodynamik

*The true logic of this world
is the theory of probability.
James Clerk Maxwell*

Die Quantenmechanik ist die wahrscheinlich erfolgreichste Theorie, die die Physik im letzten Jahrhundert hervorgebracht hat. Wer hätte sich vor 100 Jahren eine Mikroelektronik träumen lassen? Heute wird mehr als ein Drittel des Weltbrutto-sozialprodukts mit Quantenmechanik erwirtschaftet (Lesch et al. 2007). Dennoch haftet der Quantenmechanik etwas Mystisches an, weil sie sich der Anschauung mit Bildern der klassischen Physik immer wieder entzieht: Das *Teilchenbild* der klassischen *Mechanik* verliert seine Gültigkeit, wenn sich Elektronen als Materiewelle zeigen und damit Welleneigenschaften annehmen. Das *Wellenbild* der klassischen *Elektrodynamik* verliert seine Gültigkeit, wenn sich Licht als Photon zeigt und damit Teilcheneigenschaften offenbart. Max Borns statistische Deutung des Quadrats der Wellenfunktion als Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Teilchens vermag zwar den Welle-Teilchen-Dualismus zu überbrücken, das Quantenobjekt bleibt jedoch ein Chamäleon, das sich je nach experimenteller Situation mal als Welle und mal als Teilchen präsentiert. Die klassischen Bilder passen nur eingeschränkt – solange die *Thermodynamik* als eigenständige klassische Theorie vernachlässigt wird.

Obwohl der Operatorformalismus der Quantenmechanik durch seine ungeheure Einfachheit, Eleganz und Ästhetik besticht, und obwohl ihre Anwendungen ganz erstaunliche Erfolge erzielen, ist die naturphilosophische Deutung der Quantentheorie immer noch umstritten. Ziel der Naturwissenschaft ist es aber seit jeher, alle Ungeheimheiten aus dem Weg zu räumen, um Platz für neue zu schaffen. Aus diesem Grund wird im folgenden ein neuer Ansatz für eine *thermodynamische* Deutung der Quantenmechanik entwickelt. Die thermodynamische Sichtweise soll die Diskrepanz zwischen dem grandiosen Erfolg und der mangelnden Anschaulichkeit der Quantentheorie verringern. Niels Bohr sagte über die Quantenmechanik: „Wer sie nicht verrückt findet, hat sie nicht verstanden!“ Richard Feynman hielt dagegen: „Wer glaubt, sie verstanden zu haben, ist verrückt!“

1.1 Zielsetzung und Übersicht

*Beiß mir nicht in den Finger;
schau, wohin er zeigt.*

Warren S. McCulloch

Die *Quantenthermodynamik* beschäftigt sich mit der Frage, unter welchen Bedingungen die Thermodynamik aus der Quantenmechanik abgeleitet werden kann. Im Rahmen der vorliegenden Monographie wird der umgekehrte Weg beschritten und die Quantenmechanik aus einer statistischen Thermodynamik abgeleitet.

Ziel der folgenden Überlegungen ist es, das weit verbreitete Vorurteil zu widerlegen, dass es unmöglich ist, mit klassischen Begriffen konsistent *und* anschaulich über Quantenphänomene zu sprechen. Die statistische Deutung der Wellenfunktion wird hier erstmalig zu einer thermodynamischen Deutung des Quantenpotentials erweitert, indem wir von der Wellenfunktion zur Wahrscheinlichkeit und von dort weiter zur Entropie übergehen. Mit Einsteins Umkehrung der Boltzmann-Beziehung, dass die Entropie proportional zum Logarithmus einer Wahrscheinlichkeit ist, kann die Schrödinger-Gleichung auf thermodynamische Variablen transformiert werden. Dass durch diese Variablentransformation plötzlich thermodynamisch und damit „klassisch“ deutbare Terme in der bisher als „unklassisch“ angesehenen Schrödinger-Theorie auftauchen, sollte kein Zufall sein!

Die statistische Thermodynamik könnte also ein neues Licht auf die Quantenwelt werfen. Die Quantenwelt enthält trotz aller Zufälligkeiten ein überraschend hohes Maß an Ordnung und Struktur. Die Abbildung dieser Ordnung in einer thermodynamischen Sprache ermöglicht eine tiefere statistische Fundierung der Quantentheorie. Die wichtigsten Ergebnisse der thermodynamischen Umdeutung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Quantenobjekte werden als *thermodynamische* Systeme aufgefasst. *Welle* und *Teilchen* sind zwei Gesichter eines thermodynamischen Prozesses.
- Die thermodynamische Beschreibung der Quantenvorgänge ist *stetig* und *kausal*.
- Die Schrödinger-Gleichung kann aus einer thermodynamischen Lagrange-Funktion mit *statistischen* Potentialen hergeleitet werden.
- Quanteneffekte entstehen aus thermodynamischer Sicht durch ein subtiles Zusammenspiel von *Entropieproduktion* und *Entropiediffusion*.
- Die Forderung nach thermodynamischer Stabilität erzwingt die *Quantisierung* der Energie gebundener Zustände sowie eine endliche *Nullpunktsenergie*.
- Quantensysteme sind *dissipative* Systeme, die erst in stationären Zuständen *konservativ* werden. In den Eigenzuständen verschwindet die Energiedissipation.
- Die *Dekohärenz* quantenmechanischer Überlagerungszustände kann thermodynamisch begründet werden: Eigenzustände sind thermodynamisch stabiler als Überlagerungszustände.
- *Quantensprünge* sind schnelle, aber stetige Übergänge des Quantensystems von einem Eigenzustand über einen instabilen Mischzustand in einen anderen Eigenzustand.