

Gregor Schiemann

## **Werner Heisenbergs Position zu einer hypothetischen Wissenschaftsauffassung in seinen populären Reden und Aufsätzen**

Werner Heisenberg hat einen wichtigen, noch nicht hinreichend untersuchten Beitrag zum Wandel des neuzeitlichen Wissenschaftsverständnisses geleistet. Der Wandel führte von der Charakterisierung des wissenschaftlichen Wissens als sichere Erkenntnis zu seiner – heute weithin anerkannten – Charakterisierung als bloß hypothetische Erkenntnis. Anfänge dieses Wandlungsprozesses lassen sich im 19. Jahrhundert nachweisen (z. B. bei John Herschel, William Whewell oder Hermann von Helmholtz). Ich möchte am Beispiel von Heisenberg der Frage nachgehen, welchen Einfluss die Begründung der Quantenmechanik, die seine Wissenschaftsauffassung prägte, auf den Prozess der Relativierung von Geltungsansprüchen hatte. Meine Vermutung ist, dass eine entscheidende Rolle hierbei weniger dem Wahrscheinlichkeitsbegriff als vielmehr dem Wahrheits- und Realitätsbegriff zukam.

*Heisenbergs Wissenschaftsauffassung unterliegt allerdings selbst einem Wandlungsprozess und ist nicht frei von Widersprüchen.* Mit der Beschränkung seiner Matrizenmechanik auf die Berechnung messbarer Größen sucht Heisenberg 1925 eine möglichst hypothesenfreie Begründung der Quantenmechanik zu geben. Ohne die formale Struktur dieser Begründung in Frage zu stellen, kommt es seit dem Ende der 20er Jahre im Zusammenhang mit der Frage nach der Realität theoretischer Entitäten (z. B. des Elektrons), der Wahrheit atomphysikalischer Theorien, ihres Verhältnisses zu anderen physikalischen Theorien sowie des naturwissenschaftlichen Erkenntnisbegriffes zu einer teilweisen Hypothesisierung von Geltungsansprüchen.

Heisenbergs Bemühen um eine Lösung dieser theoretischen Probleme ist eng mit *praktischen Kontexten* verbunden. Die Thematisierung von Geltungsansprüchen ist durch das Gespräch mit anderen Quantenphysikern beeinflusst, sie erscheint als Teil von Heisenbergs individueller Karrierestrategie, sie dient der innerphysikalischen Durchsetzung eines bestimmten Physikverständnisses und der Organisation der physikalischen Forschung und sie reagiert nicht zuletzt auf die politischen Angriffe, denen Heisenberg und andere

WissenschaftlerInnen seit der nationalsozialistischen Machtergreifung zunehmend ausgesetzt waren.

In meinem Beitrag beschränke ich mich auf die Darstellung und Einordnung von Heisenbergs Wissenschaftsauffassung, soweit sie aus seinen *populären Reden und Aufsätzen* hervorgeht. In ihrem viel beachteten Buch über die Begründung der Quantenmechanik hat Mara Beller auf die generelle Kontextabhängigkeit von diesen Texten hingewiesen.<sup>1</sup> Dem hat sich auch der Heisenberg Biograph David C. Cassidy angeschlossen.<sup>2</sup> Inkonsistenzen, die sich zwischen den Inhalten einzelner Vorträge finden lassen, gehen nach diesen beiden Autoren darauf zurück, dass Heisenberg bei verschiedenen Auditorien unterschiedliche Wirkungen erzielen wollte. Ich veranschlage die von praktischen Kontexten abhängigen Interpretationsmöglichkeiten von Heisenbergs Auffassungen deutlich geringer. Die grundsätzlichen Elemente halten sich von seinen frühen Vorträgen aus den 30er Jahren bis zu seinen späten Vorträgen aus den 60er und 70er Jahren durch. Sie sind zum einen durch eine Ambivalenz gekennzeichnet, die die Sicherheit der wissenschaftlichen Erkenntnis betont und zugleich einräumt, dass der damit verbundene Wahrheitsanspruch aus systematischen und historischen Gründen nur bedingt eingelöst werden kann.<sup>3</sup> Zum anderen ist Heisenberg bemüht, diesen Zwiespalt zu überwinden. Sein Ringen um eine einheitliche Lösung findet sich in seiner wissenschaftsphilosophischen Konzeption der abgeschlossenen Theorien am deutlichsten ausgesprochen. Trotz der vielfältigen theoretischen und praktischen Kontexte, in denen die Entstehung und Weiterverfolgung dieser Konzeption steht, hält Heisenberg an ihr nach der ersten programmatischen Formulierung in seinem Vortrag *Wandlungen der Grundlagen der exakten Naturwissenschaft in jüngster Zeit*, den er 1934 vor der Hauptversammlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte hält, ohne wesentliche Veränderungen zeitlebens fest.

1 M. Beller, *Quantum Dialogue: the Making of a Revolution*, Chicago 1999.

2 D.C. Cassidy, *Werner Heisenberg. Leben und Werk*, Heidelberg u. a. 1995.

3 Die Ambivalenz von Heisenbergs Position zur Frage der Geltung wissenschaftlicher Erkenntnisse hat die Sekundärliteratur noch nicht diskutiert. Einseitig wird entweder seine Orientierung an absoluten Wahrheitsansprüchen hervorgehoben (M. Beller, *Quantum Dialogue*; C.L. Carson, *Particle Physics and Cultural Politics*, Harvard 1995) oder auf seine Abkehr vom klassischen Objektivitätsideal hingewiesen (C. Chevalley, *Physical Reality and Closed Theories*, Dordrecht 1988).

Die Konzeption der abgeschlossenen Theorien gehört *in doppelter Hinsicht* zur *Philosophie der Quantenmechanik*. Zum einen ist die Quantenmechanik nach Heisenberg eine abgeschlossene Theorie und erfährt als solche eine wissenschaftstheoretische Einschätzung. Zum anderen verarbeitet die Konzeption Erkenntnisse, die erst mit der Quantenphysik thematisch geworden sind. Sie überträgt Heisenbergs Verständnis der Quantenmechanik auf andere naturwissenschaftliche Theorien. In diesem Sinne ist die Konzeption der abgeschlossenen Theorien eine von der Quantenmechanik ausgehende Philosophie.

Ich werde als erstes den historischen Prozess der Hypothesisierung von Geltungsansprüchen, zu dem ich Heisenbergs Konzeption ins Verhältnis setzen möchte, charakterisieren. Anschließend rekonstruiere ich Heisenbergs Konzeption, soweit sie sich seinen populären Reden und Aufsätzen entnehmen lässt. Als drittes werde ich ihre Wirkungsgeschichte kurz ansprechen und sie mit Wissenschaftsauffassungen vergleichen, die die Bedeutung des Hypothesisen für die modernen Theorien der Naturwissenschaften betonen. Ihnen gegenüber erweist sich Heisenbergs Beitrag als durchaus eigenständig.

## 1 Zur Hypothesisierung von Geltungsansprüchen

Hypothesen sind in der Wissenschaft seit ihren antiken Ursprüngen bekannt. Aber erst in den letzten 200 Jahren – so meine These – beginnen sie, ein Kennzeichen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis und des naturwissenschaftlichen Selbstverständnisses darzustellen. Der historische Prozess der Hypothesisierung von Geltungsansprüchen ist eng mit der Entstehung und dem Niedergang des mechanistischen Weltbildes der klassischen Physik verbunden. Um seine Verlaufsform und Bestimmungen zu kennzeichnen, unterscheide ich zwischen zwei nicht immer scharf zu trennenden Formen der Wahrheitsoffenheit: Erstens Hypothesen, von denen angenommen wird, dass sie in wahre oder falsche Aussagen überführbar sind, und zweitens Hypothesen, deren Geltungsanspruch als nicht überprüfbar unterstellt wird. Bei der ersten Form handelt es sich um vorübergehende Annahmen, die durch den weiteren Gang der Forschung bestätigt, widerlegt oder auch korrigiert werden können. Von dem zweiten Hypothesentyp erwartet man hingegen nicht, dass er seinen wahrheitsoffenen Charakter verlieren wird. Die beiden Typen können in Theorien nebeneinander bestehen. So kann man von theoretischen Vermutungen über empirische Gegenstände erwarten, dass sie

sich in Wahrheit überführen lassen, von metaphysischen Annahmen derselben Theorie hingegen glauben, dass sie dauerhaft hypothetisch bleiben. Es kann zwischen den beiden Formen aber auch zur Konkurrenz kommen. Das ist etwa der Fall, wenn die Berechtigung einer der beiden Formen von einigen Wissenschaftler(n)Innen grundsätzlich bestritten wird. Dann wird entweder die von anderen Wissenschaftler(n)Innen behauptete Möglichkeit, bestimmte Hypothesen in Wahrheit überführen zu können, grundsätzlich in Frage gestellt, oder umgekehrt die von anderen angenommene uneinholbare Wahrheitsoffenheit aller Hypothesen abgelehnt.

Ich setze ferner voraus, dass die beiden Definitionen des Hypothetischen für einen längeren historischen Zeitraum brauchbar sind, obwohl in ihm der Wahrheitsbegriff beträchtlichen Wandlungen unterworfen ist. Dann stellt sich die Hypothesisierung von Geltungsansprüchen in aller Kürze wie folgt dar:

*Die Relevanz der ersten Form, der vorübergehenden hypothetischen Annahmen, nimmt seit Beginn der Neuzeit, d. h. dem 16. und 17. Jahrhundert, zu. Die neuzeitliche Naturwissenschaft thematisiert von Anfang an den Wahrheitsanspruch ihrer Erkenntnis, wofür etwa Johannes Keplers, René Descartes', Isaac Newtons und Gottfried Wilhelm Leibniz' Hypothesenbegriffe exemplarisch sind. Die bald einsetzende verstärkte Verwendung von Hypothesen steht im Kontext der Fragen der Beobachtbarkeit – z. B. beim Gebrauch optischer Instrumente – oder der Rolle von Modellen – z. B. mechanische Modelle der elektromagnetischen und submikroskopischen Vorgänge. Vorübergehende Hypothesen begründen heute das als ein Standard anerkannte hypothetisch-deduktive Verfahren der Theoriebildung, sie finden sich bei Erklärungen, die Phänomene auf Annahmen über noch unerforschte Prozesse zurückführen, bei Voraussagen, Modellberechnungen oder Simulationen – um nur einige Beispiele zu nennen.*

Die zweite Form, der Verzicht auf Wahrheitsansprüche, wird hingegen von der neuzeitlichen Naturwissenschaft lange Zeit kategorisch abgelehnt. Noch das im 18. und 19. Jahrhundert dominierende mechanistische Weltbild der klassischen Physik erhebt einen Anspruch auf endgültige, nicht hypothetische Erkenntnis und beschränkt die Verwendung wahrheitsoffener Aussagen auf die erste Form. Einen frühen bahnbrechenden wissenschaftstheoretischen Einspruch gegen diese Programmatik bildet David Humes' Empirismus. Nach Hume könnte aus Erfahrung nur induktiv gesicherte Erkenntnis gewonnen werden. Aber die Induktion ist seiner Auffassung nach nicht streng

logisch zu begründen. Deshalb komme aller empirischen Erkenntnis unhintergebar hypothetischer Charakter zu.

*Mit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts beginnt sich in Deutschland, Frankreich und England eine naturwissenschaftsinterne Thematisierung des Hypothesencharakters der Naturwissenschaft abzuzeichnen. Im 20. Jahrhundert etabliert sich eine hypothetische Auffassung in den Naturwissenschaften und der Wissenschaftstheorie, die sich von vorangehenden Wissenschaftsauffassungen durch eine positive Bewertung des Hypothesenbegriffes und ein damit verbundenes historisches Bewusstsein unterscheidet. Sie weist den absoluten Geltungsanspruch der klassischen Physik zurück und ist von der Revisionsfähigkeit aller naturwissenschaftlichen Erkenntnis überzeugt. In der Wissenschaftstheorie bringen vor allem zwei Ansätze diese Auffassung zum Ausdruck: Karl R. Poppers Falsifikationismus und die auf Pierre Duhem und Willard van Ornam Quine zurückgehende These von der empirischen Unterbestimmtheit von Theorien.*

## 2 Zur Konzeption der Abgeschlossenen Theorien

Mit der in seinen Schriften zur Geschichte und Theorie der Physik nachweisbaren ambivalenten Position zu wissenschaftlichen Geltungsansprüchen thematisiert Heisenberg beide Bedeutungen des Hypothetischen. Zum einen geht er davon aus, dass Theorien hypothetisch entworfene Strukturen sind, die ihre Wahrheitsoffenheit im Zuge einer fortschreitenden experimentellen Überprüfung der auf empirische Daten bezogenen Sätze verlieren. So heißt es in seiner 1946 gehaltenen Rede *Wissenschaft als Mittel zur Verständigung unter den Völkern*: Ich lernte,

„daß man nämlich in der Wissenschaft schließlich immer entscheiden kann, was richtig und was falsch ist; daß es sich hier nicht um Glauben oder Weltanschauung oder Hypothese handelt, sondern daß schließlich eine bestimmte Behauptung eben einfach richtig ist und die andere unrichtig; und welche richtig ist, darüber entscheidet [...] die Natur oder, wenn Sie so wollen, der liebe Gott, jedenfalls nicht die Menschen.“<sup>4</sup>

<sup>4</sup> W. Heisenberg, *Wissenschaft als Mittel zur Verständigung unter den Völkern*, in: *Gesammelte Werke*, C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927–1955, München/Zürich 1984, 386.

Mit Richtigkeit meint Heisenberg Wahrheit, die in nichtwissenschaftlichen Diskursen, in denen es vor allem um „Glauben“, „Weltanschauung“ oder „Hypothese“ geht, nicht thematisch ist. In der Wissenschaft kommen Hypothesen im Anfangsstadium von Theorien und bei deren Anwendungen auf neue Phänomenbereiche vor. In den von Theorien abgebildeten Wirklichkeitsstrukturen trete dem Menschen aber „die Wahrheit ganz rein und nicht mehr verhüllt durch menschliche Ideologien und Wünsche gegenüber“.<sup>5</sup> Dieses absolute Wahrheitsverständnis kann als Ausdruck seines Platonismus gewertet werden.<sup>6</sup> Demnach entwickelt sich die Wissenschaft von Hypothesen zu einem Wissen, das eine Erkenntnis von den unabhängig von diesem Wissen existierenden fundamentalen Gesetzen der Welt erlaubt.

Zum anderen hat der historische Wandel der wissenschaftlichen Theorien den Glauben an die unbedingte Geltung ihrer Wahrheit erschüttert und dadurch ihrer Erkenntnis hypothetischen Charakter verliehen. Wissenschaftliche Wahrheitsansprüche erwiesen sich teilweise als falsch, teilweise als untereinander begrifflich inkommensurabel.<sup>7</sup> Das Ideal eines objektiven, d. h. von den Bedingungen der Beobachtung unabhängigen Wissens zeigte sich als nur beschränkt verwirklicht.<sup>8</sup> Ob sich eine einheitliche Naturerkenntnis erreichen lässt, wurde fragwürdig.<sup>9</sup> Die seither erreichten partiellen Vereinheitlichungen von Theorien erfordern ein hohes Abstraktionsniveau, das sich von der konkreten Erscheinungsvielfalt zunehmend entfernt und nur hypothetisch auf sie Bezug zu nehmen in der Lage ist.<sup>10</sup> Nicht zuletzt läuft die pragmatische Orientierung der Forschung einem am Streben nach Wahrheit ausgerichteten Erkenntnisprozess entgegen:

5 Ebd., 393.

6 Zu Heisenbergs Platonismus vgl. C. Liesenfeld, *Philosophische Weltbilder des 20. Jahrhunderts: Eine interdisziplinäre Studie zu Max Planck und Werner Heisenberg*, Würzburg 1992.

7 Vgl. weiter unten das Beispiel der Quantenmechanik.

8 Z.B. W. Heisenberg, *Das Naturbild der heutigen Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927–1955*, München/Zürich 1984, 399 ff.; W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften II: 1956–1968*, München/Zürich 1984, 166 ff.

9 W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927–1955*, München/Zürich 1984, 96 ff.; W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, 96.

10 Vgl. Anm. 24.

„In dem Maß, in dem das praktische Handeln [in unserem Jahrhundert] in den Mittelpunkt des Weltbildes rückte, verloren die grundlegenden [wissenschaftlichen] Denkschemata ihre absolute Bedeutung [...]. In der Wissenschaft wurde man sich immer mehr dessen bewusst, daß unser Verständnis der Welt nicht mit irgend einer sicheren Erkenntnis beginnen kann, daß es nicht auf dem Felsen einer solchen Erkenntnis gegründet werden kann, sondern daß alle Erkenntnis gewissermaßen über einer grundlosen Tiefe schwebt.“<sup>11</sup>

Wie Heisenberg die Spannung zwischen seinem Festhalten an absoluten Wahrheitsbegriffen und der Einsicht in die unaufhebbare Hypothetizität der wissenschaftlichen Erkenntnis zu lösen versucht, wird an seiner Kritik der Geltungsansprüche der klassischen Physik deutlich. Deren Theorien haben seiner Auffassung nach *keine universelle, sondern nur eine begrenzte Geltung*. Die begrenzten Anwendungsbereiche seien durch die Grundbegriffe der jeweiligen Theorien festgelegt. Diese Leistung der Grundbegriffe führt Heisenberg auf ihre experimentell vermittelte Verankerung in derjenigen Erfahrung zurück, die für die jeweiligen Anwendungsbereiche spezifisch ist. Die Differenzen zwischen den Erfahrungsbereichen reflektieren sich in den Differenzen zwischen den Begriffen der jeweils zugehörigen Theorien. Für die Beziehungen zwischen den Begriffen verschiedener Theorien lässt Heisenberg auch widersprüchliche Bestimmungen zu. Allerdings schließen Differenzen der Anwendungsbereiche bzw. ihrer Erfahrungstypik Berührungen und Überschneidungen zwischen ihnen nicht aus. Der Bereich einer Theorie kann die Bereiche anderer Theorien mit umfassen. Theorien haben deshalb *keine ausschließliche Geltung*.

Heisenberg präzisiert diese Theorienstruktur mit seiner Konzeption der abgeschlossenen Theorien. Der Ausdruck „abgeschlossen“ hat dabei eine systematische und eine historische Bedeutung. Mit *systematisch* meint er eine Abgeschlossenheit der jeweiligen Theorien gegenüber anderen Theorien. Die Theorien bilden ein in sich<sup>12</sup> abgeschlossenes System, in dem Begriffe von Gesetzen unterschieden und in ein widerspruchsfreies Axiomensystem integriert sind. Die Verbindung zwischen den Begriffen ist „so eng, daß man im allgemeinen nicht irgendeinen dieser Begriffe ändern könnte, ohne gleich-

11 W. Heisenberg, *Wissenschaft als Mittel zur Verständigung*, 391.

12 W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 100.

zeitig das ganze System zu zerstören“.<sup>13</sup> Diese Bestimmung leitet zur *historischen* Bedeutung der Abgeschlossenheit über. Abgeschlossene Theorien können auch nicht durch kleine Änderungen, d. h. durch Änderungen ihrer Gesetze, verbessert werden.<sup>14</sup> Große Änderungen, d. h. Änderungen von Begriffen, führen zu neuen Begriffen und Theorien.<sup>15</sup> Theorien sind deshalb auch insofern abgeschlossen, als ihre historische Entwicklung zu einem Ende gekommen ist.<sup>16</sup>

Heisenberg sieht *vier Theorien der Physik* als abgeschlossen an: die Newtonsche Mechanik, die Elektrodynamik einschließlich der speziellen Relativitätstheorie, die Thermodynamik einschließlich ihrer statistischen Fassung und die Quantenmechanik. Aus ihrer Abgeschlossenheit folgert er, dass sie „für alle Zeiten“ gelten; „wo immer Erfahrungen mit den Begriffen dieser Theorie[n] beschrieben werden können, und sei es in der fernsten Zukunft, immer werden die Gesetze dieser Theorie[n] sich als richtig erweisen“.<sup>17</sup> Diese Formulierung hat zirkulären Charakter, insofern nur die Erfahrungen gemeint sind, auf die die Begriffe anwendbar sind. Insofern aber zwischen Begriffen und Erfahrungen immer eine Differenz besteht, ist die Formulie-

13 W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, 81.

14 W. Heisenberg, *Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien in der Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften III: 1969–1976*, München/Zürich 1985, 417.

15 W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 100. W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, 84. Vgl. E. Scheibe, *Heisenbergs Begriff der abgeschlossenen Theorie*, in: B. Geyer u. a. (Hg.), *Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph*, Heidelberg 1993, 252.

16 Heisenbergs wichtigste Darstellungen seiner Konzeption finden sich in W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*. W. Heisenberg, *Der Begriff der ‚Abgeschlossenen Theorie‘*. W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, Kap. VI. W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften III: 1969–1976*, München 1985, Kap. 8. W. Heisenberg, *Abschluss der Physik?*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften III: 1969–1976*, 385 ff. und W. Heisenberg, *Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien*. In: *Der Begriff der ‚Abgeschlossenen Theorie‘*, 338 f., nennt er vier Kennzeichen von abgeschlossenen Theorien: 1. innere Widerspruchsfreiheit und Axiomatisierung der Begriffe, 2. Darstellung der Erfahrung in einem bestimmten Anwendungsbereich, 3. fehlendes Wissen über die genauen Grenzen der Anwendungsbereiche, 4. Voraussetzung der weiteren Forschung. Zur Diskussion dieser Kennzeichen vgl. E. Scheibe, *Heisenbergs Begriff der abgeschlossenen Theorie*. M. Frappier, *Heisenberg's Notion Of Interpretation*, London/Ontario 2004. A. Bokulich, *Heisenberg Meets Kuhn: Closed Theories and Paradigms*, in: *Philosophy of Science* 73 (2), (2006).

17 W. Heisenberg, *Der Begriff der ‚Abgeschlossenen Theorie‘*, 339.

rung nicht tautologisch. Dem entspricht, dass die Geltung einen Zeitbezug aufweist: Sie erstreckt sich auf „alle Zeiten“ und bezeichnet damit keine zeitlose, aber doch eine für alle zu einem Zeitpunkt denkbaren Kontexte invariante und insofern endgültige Geltung.

Die hiermit zum Ausdruck gebrachte Behauptung einer *weitreichenden Stabilität grundlegender physikalischer Theorien* hat eine beachtliche Plausibilität und stellt den eigentlichen Reiz von Heisenbergs Konzeption dar. In ihren heute vor allem von den Ingenieurwissenschaften bearbeiteten und genutzten Anwendungsbereichen haben die Newtonsche Mechanik, die Elektrodynamik und die Thermodynamik eine gegenüber dem Ende des 19. Jahrhunderts unveränderte Geltung; die Quantenmechanik hat sich in den gut 80 Jahren ihres Bestehens in einer wohl beispiellosen Weise bewährt. Heisenbergs Verknüpfung des Merkmals der theoretischen Beständigkeit mit bestimmten experimentell aufbereiteten Erfahrungsbereichen findet auch in der gegenwärtigen Wissenschaftstheorie wie etwa bei Ian Hacking Beachtung.<sup>18</sup>

Mit seiner These von einer endgültigen Geltung einzelner Theorien formuliert Heisenberg *eine nicht hypothetische Eigenschaft* der physikalischen Erkenntnis, die nur noch teilweise an traditionellen Wahrheitsansprüchen anknüpft. Das mechanistische Weltbild der Physik zielte auf die inhaltliche Einheit der Erkenntnis ab. Heisenberg problematisiert dieses Ziel, indem er auf die universelle Geltung der Theorien verzichtet. Der abgeschlossene, nicht verbesserungsfähige Charakter der Theorien könnte ihrer Einheit zuwiderlaufen. Würde die Naturwissenschaft insgesamt aus abgeschlossenen Theorien bestehen, erhielte sie einen pluralen Charakter.

„Das Gebäude der exakten Naturwissenschaft kann also kaum [...] eine zusammenhängende Einheit werden, so, daß man von einem Punkte in ihm einfach durch die Verfolgung des vorgeschriebenen Weges in alle anderen Räume des Gebäudes kommen kann. Vielmehr besteht es aus einzelnen Teilen, von denen jeder, obwohl er zu den anderen in den mannigfachsten Beziehungen steht, [...] doch eine in sich abgeschlossene Einheit darstellt.“<sup>19</sup>

18 I. Hacking, *The Self-Vindication of the Laboratory Sciences*, in: A. Pickering (Hg.), *Science as Practice and Culture*, Chicago 1992, 30.

19 W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 101. Vgl. auch W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, 96.

Diese mit William James' Pluralismus<sup>20</sup> verwandte Sichtweise der wissenschaftlichen Erkenntnis, muss keinen Verzicht auf Wahrheitsansprüche einschließen. Die abgeschlossenen Theorien bleiben ja in ihren Anwendungsbereichen „für alle Zeiten“ gültig. Heisenberg gibt Anlass zum Zweifel am Anspruch auf Einheit der Erkenntnis, nicht aber an ihrer endgültigen Geltung in einzelnen Bereichen. Anders formuliert, er rettet die zeitliche Dimension des klassischen Geltungsanspruches durch seine Ablösung vom Einheitsanspruch. Eine alles umfassende Theorie zu formulieren, bildet bei Heisenberg ein Ziel der Wissenschaft, dessen Erreichung zwar immer noch wünschenswert, aber vielleicht nicht mehr möglich ist. Die Distanzierung von universellen Geltungsansprüchen könnte darauf zurückgehen, dass Heisenberg die Behauptung ihrer Endgültigkeit bezweifelt und diese zeitliche Dimension von traditionellen Wahrheitsbegriffen jedenfalls für einzelne Theorien zu retten sucht.

Den antihypothetischen Gehalt seines Wahrheitsbegriffes diskutiert Heisenberg an verschiedenen Stellen, beispielsweise, wenn er der Frage nachgeht, welche Konsequenzen die *Entstehung der Quantenmechanik* für den Geltungsanspruch der klassischen Theorien hat.<sup>21</sup> Nach Heisenberg sind die klassischen Theorien im Lichte der modernen nicht falsch, sondern bleiben in ihren Anwendungsbereichen richtig. Falsch war nur, dass sie ihre Anwendungsbereiche überschritten haben, z. B. durch mechanische Modelle des Atoms. Aber diese unzulässige Überschreitung ist erst im Licht von neuen Theorien erkennbar. Heisenberg zweifelt nicht, dass sich die Anwendungsgrenzen der Quantenmechanik zukünftig durch neue Theorien vergleichbar festlegen lassen werden wie zuvor die Grenzen der klassischen Theorien. Damit würden auch für die Quantenmechanik die Bedingungen der endgültigen Geltung präzisiert werden.

Die nur im historischen Prozess feststellbaren Grenzziehungen zwischen den Anwendungsbereichen abgeschlossener Theorien verweisen nun aber zugleich auf ein erstes Element der irreduziblen Hypothesierung dieser Theorien in Heisenbergs Konzeption. Die immer *erst nachträglich möglichen Grenzbestimmungen* können alle bisherigen Annahmen über den Umfang von Geltungsbereichen verändern. Dieser Prozess könnte erst mit einer

20 W. James, *A Pluralistic Universe* (1914), New York 1925.

21 W. Heisenberg, *Prinzipielle Fragen der modernen Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927–19550*, München/Zürich 1984, 110f.

letzten abgeschlossenen Theorie beendet werden. Vor einem solchen finalen Zustand, dessen künftige Realisierung Heisenberg nicht ausschließt,<sup>22</sup> lassen sich die Grenzen aller abgeschlossenen Theorien nicht mit Sicherheit angeben. Ihre Aussagen über Phänomene erhalten damit einen hypothetischen Charakter, der auf Heisenbergs *historische Auffassung der Erkenntnis* zurückgeht. Die naturwissenschaftliche Erkenntnis erweitert sich nicht ohne Rückwirkungen auf die schon vorhandenen Bestandteile. Der Grad ihrer Sicherheit wächst mit zunehmender Bestimmung ihrer Grenzen, ohne je letzte Gewissheit erreichen zu müssen. Die Endgültigkeit der Theorien schließt folglich nicht aus, dass ihre Aussagen sowohl vorübergehend als auch prinzipiell hypothetischen Charakter haben. Vor diesem Hintergrund stellt Heisenberg fest:

„Die abgeschlossene Theorie enthält keine völlig sichere Aussage über die Welt der Erfahrungen. Denn wie weit man mit den Begriffen dieser Theorie die Erscheinungen greifen kann, bleibt im strengen Sinne unsicher und einfach eine Frage des Erfolgs. [...] Trotz dieser Unsicherheit bleibt die geschlossene Theorie ein Teil unserer naturwissenschaftlichen Sprache.“<sup>23</sup>

In Heisenbergs Konzeption finden sich zwei weitere Elemente einer Hypothesierung der wissenschaftlichen Erkenntnis, die, wenn auch in unterschiedlichem Maß, ebenfalls auf die Historisierung der wissenschaftlichen Erkenntnis zurückgehen. Betrifft das eben genannte Element die Erfahrungsgegenstände, die irrtümlich zu einem Anwendungsbereich gerechnet wurden, so handelt das zweite von der Beziehung zwischen *Erfahrung und Theorie* innerhalb der Grenzen eines Anwendungsbereiches. Die Axiomatisierung von Theorien, die ihre Widerspruchsfreiheit garantiert, legt nach Heisenberg die Begriffe auf bestimmte Bedeutungen fest. Für die Erfahrung in dem jeweiligen Anwendungsbereich unterstellt er aber eine Wandelbarkeit, die von den begrifflichen Festlegungen nur bedingt erfasst wird.<sup>24</sup>

Dieses Element der Wahrheitsoffenheit abgeschlossener Theorie steht im Zusammenhang mit Heisenbergs *romantischem Bezug auf Platons Ideenlehre*. In seinem Vortrag *Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung*

22 W. Heisenberg, *Abschluss der Physik?*, 390ff.

23 W. Heisenberg, *Der Begriff der ‚Abgeschlossenen Theorie‘*, 339.

24 Ebd., 338 f. W. Heisenberg, *Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien*, 418.

von 1933 unterscheidet er mit Platon „vier Stufen der Erkenntnis“<sup>25</sup>: die Wesenserkenntnis (episteme), die Einsicht (dianoia), den Glauben (pistis) und die Vermutung (eikasias).<sup>26</sup> Während Platon aber die episteme nur auf die Welt der Ideen bezieht, versteht Heisenberg sie als eine von der dianoia abgegrenzte Form der Naturerkenntnis. Episteme entspreche einem Naturverstehen, das unmittelbaren, anschaulichen und qualitativen Charakter habe und deshalb der Erfahrung direkt verbunden sei; dianoia bezeichne demgegenüber eine quantitative Naturbeschreibung, die sich durch zunehmende Axiomatisierung vervollkomme. Die Naturwissenschaft habe die dianoia vermehrt und sich damit immer weiter von der episteme entfernt.<sup>27</sup> Das unmittelbare Naturverständnis der episteme, für das Goethes Naturauffassung bei Heisenberg paradigmatisch ist,<sup>28</sup> erlaubt eine Erkenntnis des Wandels der konkreten Erscheinungsvielfalt und bildet damit eine kritische Instanz gegen den Wahrheitsanspruch der mathematischen Naturerkenntnis. Heisenbergs Platonismus erlaubt also nicht nur die Begründung absoluter Wahrheitsansprüche, sondern auch die der Vielfalt von Erscheinungen und ihrer Erkenntnisweisen.

Das dritte Element des Hypothetischen in Heisenbergs Konzeption berührt sich mit dem ersten im Bezug auf die Relationen zwischen abgeschlossenen Theorien. Neue Theorien entstehen, weil alte Theorien bei der Ausdehnung ihrer Anwendungsbereiche scheitern. Vermeintliche Anwendungsbereiche einer alten Theorie stellen sich als diejenigen einer neuen Theorie heraus. Zwischen den Begriffen der alten und der neuen Theorie müssen keine konsistenten Beziehungen bestehen. Allerdings können sich aus den Gesetzen der neuen Theorie die Gesetze der alten Theorie als Grenzfälle ergeben. Als Grenzfall lassen sich die Phänomene der alten Theorie mit den Begriffen der neuen Theorie erfassen. Die Entstehung neuer Theorien führt somit zur *Möglichkeit, empirisch äquivalente Gegenstände durch begrifflich unter Umständen inkompatible Theorien darzustellen*. In dieser Eigenschaft findet eine von Heisenberg nicht als solche diskutierte *empirische Unterbestimmt-*

25 W. Heisenberg, *Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927–1955*, München/Zürich 1984, 54.

26 Platon, *Pol.* VI 509d–511e.

27 W. Heisenberg, *Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung*, 56.

28 W. Heisenberg, *Das Naturbild Goethes und die technisch-naturwissenschaftliche Welt*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften II: 1956–1968*, Berlin 1984 ff., 405 f.

heit abgeschlossener Theorien ihren Ausdruck. Solange man an der Einheit der Erkenntnis als Teil der Wahrheitsdefinition festhält, folgt aus der Unterbestimmtheit die Hypothetizität der wissenschaftlichen Erkenntnis.

*Zusammenfassend* möchte ich feststellen, dass Heisenberg mit seinem Konzept der abgeschlossenen Theorien einen Schritt in Richtung einer Hypothesierung der Wissenschaftsauffassung unternimmt. Paradoxerweise sucht er mit diesem Schritt den klassischen Anspruch auf Endgültigkeit der Erkenntnis zu retten. Er gibt die von der klassischen Auffassung geforderten notwendigen Wahrheitsbestimmungen der Universalität und Ausschließlichkeit der Erkenntnis auf und räumt Unsicherheiten in den Beziehungen zwischen abgeschlossenen Theorien sowie zwischen ihnen und ihren Erfahrungsbereichen ein. Im Rahmen der im ersten Abschnitt skizzierten historischen Entwicklung steht Heisenberg im Übergang vom frühneuzeitlichen Wahrheitsanspruch zu einer hypothetischen Wissenschaftsauffassung.<sup>29</sup>

### 3 Zur Rezeption von Heisenbergs Konzeption

Trotz ihrer Plausibilität war Heisenbergs Konzeption bisher *keine bedeutende Wirkungsgeschichte* beschieden. Die Rezeption hat sich im Wesentlichen auf Arbeiten von Carl Friedrich von Weizsäcker,<sup>30</sup> den Umkreis seiner ehemaligen Mitarbeiter<sup>31</sup> und den schon erwähnten Rekurs von Hacking beschränkt. Seine Konzeption findet heute vor allem wegen ihrer historischen Bedeutung für das Verständnis der Quantenmechanik Beachtung.<sup>32</sup> Wenig Aufmerksamkeit ist bisher dem Umstand geschenkt worden, dass sich

29 In dieser grundsätzlichen Verortung besteht eine Ähnlichkeit zu Hermann von Helmholtz' Wissenschaftsauffassung, die ich in G. Schieman, *Die Hypothesierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz. Ein Beitrag zum Wandel der Wissenschafts- und Naturauffassung im 19. Jahrhundert*, in: L. Krüger (Hg.), *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*, Berlin 1994, 149–167 und G. Schieman, *Wahrheitsgewissheitsverlust. Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie*, Darmstadt 1997 untersuche.

30 C.F. von Weizsäcker, *Die Einheit der Natur*, München 1974.

31 E. Scheibe, *Heisenbergs Begriff der abgeschlossenen Theorie*. G. Böhme u. a., *Die Fikalisierung der Wissenschaften*, in: *Zeitschrift f. Soziologie* 2 (1973), 128 ff. G. Böhme, *Wie kann es abgeschlossene Theorien geben?*, in: *Zt. f. allg. Wissenschaftstheorie* X (1979), 343–351.

32 M. Beller, *Quantum Dialogue*. C. Chevalley, *Physical Reality and Closed Theories*. A. Bokulich, *Heisenberg Meets Kuhn*.

an ihr der Wandlungsprozess im Geltungsanspruch der Wissenschaften studieren lässt.

Ich hatte bereits Poppers Falsifikationismus und die auf Duhem und Quine zurückgehende These von der empirischen Unterbestimmtheit als *wissenschaftstheoretische* Paradigmen des Hypothetischen erwähnt. In *wissenschaftshistorischer* Hinsicht hat Thomas S. Kuhn einer hypothetischen Wissenschaftsauffassung vorgearbeitet. Das Verhältnis, in dem Heisenbergs Konzeption zu diesen Theorien steht, möchte ich abschließend stichwortartig umreißen.

Zum *Falsifikationismus* stehen Heisenbergs abgeschlossene Theorien in deutlicher Distanz, weil sie mit ihrem Anspruch auf Endgültigkeit bestreiten, widerlegbar zu sein. In seinen späteren Schriften nimmt Heisenberg allerdings seine Behauptung der Unwiderlegbarkeit abgeschlossener Theorien zurück.<sup>33</sup> Er kann sich damit auf sein Verständnis von Endgültigkeit beziehen, das nicht eine absolute überzeitliche, sondern eine sich auf einen relativ langen Zeitraum erstreckende Geltung meint. Auch der nicht holistische Charakter von abgeschlossenen Theorien, in denen kein Begriff „im allgemeinen“ geändert werden kann, „ohne gleichzeitig das ganze System zu zerstören“,<sup>34</sup> schwächt eine Immunität gegen Widerlegungen.

Duhems und Quines These von der *empirischen Unterbestimmtheit* liegt in verschiedenen Formulierungen vor. Aus den vielfältigen Bestimmungsmöglichkeiten dieser These greife ich eine heraus, die mir für den Vergleich mit Heisenbergs Konzeption geeignet erscheint: Demnach ist eine Theorie unterbestimmt, wenn ihre empirische Evidenz nicht ausreicht, um sie zu bestätigen oder zu entkräften. Wenn empirische Evidenz das einzige Kriterium für die Annahme oder Ablehnung einer Theorie ist, folgt, dass zwischen logisch inkompatiblen Theorien, die sich auf den gleichen Gegenstand beziehen, nicht entschieden werden kann. Heisenbergs Konzeption führt auf die Möglichkeit begrifflich und damit auch logisch inkompatibler Darstellungen eines Gegenstandsbereiches. Er reduziert aber das Kriterium der Theorienwahl nicht auf die empirische Evidenz. Ihren Anwendungsbereichen bleiben die Begriffe der abgeschlossenen Theorien angemessener als die Begriffe derjenigen Theorien, als deren Grenzfall sie sich berechnen lassen. Der Gegenstandsbereich einer abgeschlossenen Theorie kann aber

33 W. Heisenberg, *Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien*, 418.

34 W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, 81; vgl. Anm. 13

auch jegliche Relevanz verlieren. In seiner ersten Diskussion des Begriffs der abgeschlossenen Theorie von 1934 vergleicht Heisenberg das Verhältnis der abgeschlossenen klassischen Theorien zur Quantenmechanik mit dem Verhältnis der Scheiben- und Kugeltheorien der Erde. Die Scheibentheorien wurden durch ein anderes Begriffssystem verdrängt, in dem ein Teil ihres Gegenstandsbereiches und die mit ihm verbundenen Fragestellungen nicht mehr vorkamen.<sup>35</sup>

Die durch einen begrifflichen Bruch zu vorangehenden Theorien gekennzeichnete Entstehung neuer Theorien weist schließlich *Ähnlichkeiten zu Thomas S. Kuhns Theorie der Wissenschaftsentwicklung* auf, als deren Vorläufer Heisenbergs Konzeption vielfach diskutiert worden ist.<sup>36</sup> Im Gegensatz zu Kuhns Paradigmen, deren Abfolge zu keinem Fortschritt der Erkenntnis führt, erweitern aber bei Heisenberg neue Theorien die Erkenntnis, da sie bisher nicht erforschte oder nicht erfolgreich erforschte Phänomene zum Gegenstand haben, die von den Phänomenen vorangehender Theorien unterschieden bleiben. Während bei Kuhn die Theorienwahl im Paradigmenwechsel maßgeblich von außerdisziplinären Einflüssen abhängt, sieht Heisenberg neue abgeschlossene Theorien aus innerdisziplinären Zusammenhängen hervorgehen. In der Diskussion der Entstehungsbedingungen der Quantenmechanik betont er teils die Bedeutung der Diskussion und Intuition der WissenschaftlerInnen,<sup>37</sup> teils behauptet er, dass die neue Theorie „durch die Natur aufgezwungen“<sup>38</sup> worden wäre.

Der Vergleich der drei hypothetischen Wissenschaftsauffassungen mit der Konzeption der abgeschlossenen Theorien bestätigt, dass Heisenberg noch an unbedingten Wahrheitsansprüchen orientiert bleibt. Er bestreitet (meist) eine grundsätzliche Revidierbarkeit der wissenschaftlichen Erkenntnis, die Möglichkeit ihrer äquivalenten Darstellungen und ihre historische Relativität. Die bewährten Theorien zeugen von einem Erkenntnisfortschritt, der zu

35 W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 98 und 100.

36 Zum Verhältnis von Heisenberg und Kuhn vgl. außerdem: A. Bokulich, *Heisenberg Meets Kuhn*. M. Van Dyck, *The Roles of One Thought Experiment in Interpreting Quantum Mechanics*. *Werner Heisenberg Meets Thomas Kuhn*, [philsci-archive.pitt.edu/archive/00001158/](http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00001158/). 12.05.2003.

37 „[U]nsere Anstrengungen konzentrieren sich darauf, die richtigen mathematischen Beziehungen zu erraten“ (W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, 86).

38 W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, 96. vgl. auch „So ergab sich von selbst die Idee“ (W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, 21).

sichererem Wissen in begrenzten Geltungsbereichen führt. An die Erfahrungsstruktur dieser Bereiche sind die Begriffe der bewährten Theorien immerhin so gut angepasst, dass sie für alle Zeiten gelten.

#### 4 Schluss

Ich komme zum Schluss und fasse noch einmal meine Thesen zusammen: Nach Heisenberg handelt es sich bei den bewährten Theorien der Physik um so genannte abgeschlossene Theorien. Solche Theorien haben einen begrenzten Anwendungsbereich, an dessen Erfahrungsstruktur ihre Begriffe besonders gut angepasst sind und in dem sie für alle zukünftig denkbaren Umstände gelten. Mit dieser Konzeption knüpft Heisenberg zum einen an den Anspruch auf *endgültige Erkenntnis* an, wie er für die klassische Physik typisch war. Zum anderen nimmt er im Rahmen seiner Konzeption eine *Hypothetisierung* von Geltungsansprüchen vor, die traditionellen Auffassungen entgegengerichtet ist. Die Sicherheit der physikalischen Erkenntnis geht nicht über abgeschlossene Theorien hinaus und ist folglich nicht mehr notwendig auf das Ziel einer einheitlichen Naturbeschreibung ausgerichtet. Geltungsunsicherheit besteht dann *erstens* in Bezug auf die Grenzen der Anwendungsbereiche, *zweitens* in Bezug auf die Begriffe, die wegen ihrer Festlegung durch axiomatisierte Theorien dem Wandel der Erfahrung nur bedingt gerecht werden, und *drittens* in Bezug auf diejenigen Anwendungsbereiche, die durch verschiedene abgeschlossene Theorien zugleich erfasst werden.

Heisenbergs Konzeption kommt eine *beachtliche Plausibilität* zu, die der Stabilität bewährter physikalischer Theorien gerechter wird als Poppers Falsifikationismus. In systematischer Hinsicht weist sie Ähnlichkeiten mit der These von der empirischen Unterbestimmtheit von Theorien und in historischer Hinsicht mit Kuhns Auffassung von der Theorienentwicklung auf.<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Eine ausführliche Darstellung von Heisenbergs Denken entwickle ich in G. Schieman, *Werner Heisenberg*, München 2008.

#### Literatur

- M. Beller, *Quantum Dialogue: the Making of a Revolution*, Chicago 1999.
- G. Böhme, *Wie kann es abgeschlossene Theorien geben?*, in: *Zt. f. allg. Wissenschaftstheorie X* (1979), 343-351.
- G. Böhme u. a., *Die Finalisierung der Wissenschaften*, in: *Zeitschrift f. Soziologie 2* (1973), 128 ff.
- A. Bokulich, *Heisenberg Meets Kuhn: Closed Theories and Paradigms*, in: *Philosophy of Science 73* (2006), 90-107.
- C.L. Carson, *Particle physics and cultural politics: Werner Heisenberg and the shaping of a role for the physicist in postwar West*, Dissertation at Harvard Univ., Harvard 1995.
- D.C. Cassidy, *Werner Heisenberg, Leben und Werk*, Heidelberg u. a. 1995.
- C. Chevalley, *Physical Reality and Closed Theories in Werner Heisenberg's Early Papers*, in: D. Batens/J. P. van Bendegem (Hg.), *Theory and Experiment: Recent Insights and New Perspectives on Their Relation*, Dordrecht 1988.
- M. Frappier, *Heisenberg's Notion Of Interpretation*, Dissertation, The University of Western Ontario, London/Ontario 2004.
- I. Hacking, *The Self-Vindication of the Laboratory Sciences*, in: A. Pickering (Hg.), *Science as Practice and Culture*, Chicago 1992.
- W. Heisenberg, *Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 50 ff.
- W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 96 ff.
- W. Heisenberg, *Prinzipielle Fragen der modernen Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 108 ff.
- W. Heisenberg, *Die Goethe'sche und die Newton'sche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 146 ff.

- W. Heisenberg, *Wissenschaft als Mittel zur Verständigung unter den Völkern*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 384 ff.
- W. Heisenberg, *Der Begriff der ‚Abgeschlossenen Theorie‘ in der modernen Naturwissenschaft*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 335 ff.
- W. Heisenberg, *Das Naturbild der heutigen Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955*, München/Zürich 1984, 398 ff.
- W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften II: 1956-1968*, München/Zürich 1984, 3 ff.
- W. Heisenberg, *Die Rolle der phänomenologischen Theorien im System der theoretischen Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften II: 1956-1968*, München/Zürich 1984, 384 ff.
- W. Heisenberg, *Das Naturbild Goethes und die technisch- naturwissenschaftliche Welt*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften II: 1956-1968*, München/Zürich 1984, 394 ff.
- W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, Kap. 5 (Gespräch mit Einstein), in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften III: 1969-1976*, München/Zürich 1985, 3 ff.
- W. Heisenberg, *Abschluss der Physik?*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften III: 1969-1976*, München/Zürich 1985, 385 ff.
- W. Heisenberg, *Die Richtigkeitskriterien der abgeschlossenen Theorien in der Physik*, in: *Gesammelte Werke. C: Allgemeinverständliche Schriften III: 1969-1976*, München/Zürich 1985, 417 ff.
- W. Heisenberg, *Gesammelte Werke, A: Wissenschaftliche Originalarbeiten I: 1922-46, II: 1929-45, III: 1946-72, B: Scientific review papers, talks, and books, C: Allgemeinverständliche Schriften I: 1927-1955, II: 1956-1968, III: 1969-1976*, Berlin/München/Zürich 1984 ff.
- W. James, *A pluralistic Universe* (1914), New York 1925.
- C. Liesenfeld, *Philosophische Weltbilder des 20. Jahrhunderts: Eine interdisziplinäre Studie zu Max Planck und Werner Heisenberg*, Würzburg 1992.

- E. Scheibe, *Heisenbergs Begriff der abgeschlossenen Theorie*, in: B. Geyer u. a. (Hg.), *Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph*, Heidelberg 1993.
- G. Schiemann, *Die Hypothesisierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz. Ein Beitrag zum Wandel der Wissenschafts- und Naturauffassung im 19. Jahrhundert*, in: L. Krüger (Hg.), *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*, Berlin 1994, 149-167.
- G. Schiemann, *Wahrheitsgewissheitsverlust. Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie*, Darmstadt 1997.
- G. Schiemann, *Werner Heisenberg*, München 2008.
- M. Van Dyck, *The Roles of One Thought Experiment in Interpreting Quantum Mechanics. Werner Heisenberg Meets Thomas Kuhn*, [philsci-archive.pitt.edu/archive/00001158/](http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00001158/). 2003.
- C.F. von Weizsäcker, *Die Einheit der Natur*, München 1974.

**Myriam Gerhard (Hrsg.)**

**Oldenburger Jahrbuch  
für Philosophie**

**2007**



BIS-Verlag der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg