

Ordnung der Wirklichkeit – Zum Einfluss der platonischen Naturphilosophie auf Heisenbergs Denken

Vortrag am Samstag, 9. Juli 2016, um 18.00 Uhr im Rahmen des Workshops „Quantenphysik an der Schule“, veranstaltet von der Heisenberg-Gesellschaft in Schloss Waldhausen bei Mainz vom Freitag, 8. Juli 2016, bis zum Sonntag, 10. Juli 2016

von DR. TOBIAS JUNG

Folie 1

Deckblatt

Folie 2

WERNER HEISENBERG (1901–1976) ist zweifellos einer der großen Physiker des 20. Jahrhunderts. Er ist – zumal im schulischen Kontext – vor allem für seine Arbeiten zur Quantenmechanik bekannt, insbesondere für die nach ihm benannte *Unbestimmtheitsrelation* oder *Unschärferelation*¹ sowie die mathematische Formulierung der Quantentheorie, die als *Matrizenmechanik*² bezeichnet wird. Weniger geläufig sind die Beiträge Heisenbergs zur Hydrodynamik, zur Atom- und Molekülphysik, zur Kernphysik und ihren Anwendungen im „Uran-Projekt“, zur kosmischen Strahlung, zur Supraleitung, zur Elementarteilchenphysik und zum Versuch, eine einheitliche Feldtheorie der Elementarteilchen zu entwickeln.³

Folie 3

So vielfältig oder gar disparat das physikalische Werk Heisenbergs damit auch scheinen mag, in einem Manuskript, das in den Jahren 1941 und 1942 abgefasst sein dürfte und das erst posthum unter dem Titel *Ordnung der Wirklichkeit*⁴ publiziert wurde, stellt Heisenberg alle seine physikalischen Bemühungen in einen größeren Kontext:⁵

„Wer sein Leben für die Aufgabe bestimmt, einzelnen Zusammenhängen der Natur nachzugehen, der wird von selbst immer wieder vor die Frage gestellt, wie sich jene einzelnen Zusammenhänge harmonisch dem Ganzen einordnen, als das sich uns das Leben oder die Welt darbietet. [...] So kreisen die Gedanken immer wieder um das Problem, wie jenes Ganze zusammenhängt, das wir Welt oder Leben nennen (– je nachdem wir uns aus- oder eingeschlossen denken –), und an welcher Stelle in diesem Ganzen die besonderen Zusammenhänge stehen, denen etwa ein großer Teil der Lebensarbeit gilt.“

Er fragt nach dem Zusammenhang der Erkenntnisse, nach der Bedeutung einzelner physikalischer Erkenntnisse in einem größeren Ganzen, nach der Einheit unseres Wissens und bezieht dieses Fragen auf die Welt und den Menschen. Die Physik kann demnach einen

¹Vgl. [15]. Vgl. hierzu auch [18].

²Vgl. [1].

³Vgl. insbesondere die Gruppierungen von Heisenbergs wissenschaftlichen Publikationen in [9], S. IX–XI, [10], S. VII–X, und [11], S. VII–X.

⁴Vgl. [12].

⁵[12], S. 31.

Beitrag zu einem Weltbild leisten, das uns Menschen in unserem Denken und Handeln zu orientieren vermag.

Folie 4

In seiner Bemühung um eine Einordnung der physikalischen Erkenntnis der Wirklichkeit in einen sinnstiftenden Zusammenhang scheint im Hintergrund der Dialog *Timaios* des griechischen Philosophen PLATON (428/427 v. Chr. – 348/347 v. Chr.) durch, den Heisenberg als Schüler gelesen und der ihn nachhaltig beeindruckt hat.⁶ In seiner 1969 publizierten Autobiographie *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*, die sich aus meiner Sicht auch hervorragend als Lektüre für interessierte Schülerinnen und Schüler eignet, schildert Heisenberg, wie er zur Vorbereitung auf das Abitur im Frühjahr 1919 in den Wirren nach dem Ersten Weltkrieg zur Auffrischung seiner Altgriechischkenntnisse an diesen Dialog geriet und von ihm gefesselt, ja letztlich zutiefst beunruhigt wurde:⁷

„[W]as ich dort las, kam mir völlig absurd vor. Da wurde behauptet, daß die kleinsten Teile der Materie aus rechtwinkligen Dreiecken gebildet seien, die [...] sich zu den regulären Körpern der Stereometrie [d. h. den Platonischen Körpern] zusammenfügten. Dabei blieb mir unklar, ob die regulären Körper nur als Symbole den Elementen zugeordnet waren [...] oder ob wirklich [zum Beispiel] die kleinsten Teile des Elements Erde eben die Form des Würfels haben sollten. [...] Dabei ging für mich von der Vorstellung, daß man bei den kleinsten Teilen der Materie schließlich auf mathematische Formen stoßen sollte, eine gewisse Faszination aus.“

Folie 5

Heisenberg konstatiert zusammenfassend:⁸

„Das wichtigste Ergebnis der Lektüre war vielleicht die Überzeugung, daß man, wenn man die materielle Welt verstehen wollte, etwas über ihre kleinsten Teile wissen mußte. Aus Schullehrbüchern und populären Schriften war mir bekannt, daß auch die moderne Wissenschaft Untersuchungen über die Atome anstellt. Vielleicht konnte ich später in meinem Studium selbst in diese Welt eindringen.“

Die Fragen nach der *Teilbarkeit der Materie* und dem *Aufbau der Materie* sowie das Streben,⁹

„Dass ich erkenne was die Welt
Im Innersten zusammenhält,“

⁶Zum Platonismus Heisenbergs vgl. insbesondere [22], [21], S. 153–278, und [20]. Wenngleich Heisenbergs Beschäftigung mit Platon in seine Schulzeit zurückreicht (vgl. zum Beispiel [8], S. 15–18), so findet die Platonische Philosophie erst in den 1930er Jahren Eingang in seine Vorträge und Veröffentlichungen (vgl. [26], S. 78).

⁷[8], S. 17.

⁸[8], S. 17 f.

⁹Goethe, *Faust I*, „Nacht“, Verse 382 f., hier zitiert nach [5], S. 13.

wie es Faust im ersten Teil der gleichnamigen Tragödie von JOHANN WOLFGANG VON GOETHE (1749–1832) ausdrückt, blieben für Heisenberg zeitlebens eine Triebfeder seines physikalischen und philosophischen Denkens und führten ihn zunächst zur Quantenmechanik und zur einheitlichen Feldtheorie der Elementarteilchen.

Folie 6

Üblicherweise wird – gerade in Schulbüchern – die moderne Atomtheorie und Elementarteilchenphysik auf die Vorstellungen der antiken Atomisten Leukipp (5. Jhd. v. Chr.) und Demokrit (um 460 v. Chr. – um 400 v. Chr. oder um 380/370 v. Chr.) zurückgeführt. Beispielsweise heißt es:¹⁰

„LEUKIPP und [...] DEMOKRIT entwickelten eine völlig neue Idee [hinsichtlich des Urgrundes aller Dinge]. Ihrer Position nach besteht die Materie aus einer großen Anzahl kleiner und unteilbarer Bausteine, die sinnlich nicht wahrgenommen werden können, sich in ewiger Bewegung befinden und – nach dem griechischen Begriff *atomos* für ‚unteilbar‘ – **Atome** genannt werden. [...] Die Theorie von absolut ‚vollen‘ materiellen Teilchen, die unveränderlich sind, zwischen denen völlige Leere herrscht und die erst in ihrer Zusammensetzung den menschlichen Sinnen zugänglich werden, entspricht sehr weitgehend den Vorstellungen, die die Physik über 2000 Jahre später wieder entwickelt hat.“

Folie 7

Von Leukipp und Demokrit sind – wie von anderen Vorsokratikern auch – keine Schriften erhalten geblieben, sodass nur auf zitierte *Fragmente* oder Berichte anderer Autoren zurückgegriffen werden kann. In einer Passage, die von Demokrit stammt heißt es:¹¹

„Durch Festsetzung süß, durch Festsetzung bitter, durch Festsetzung warm, durch Festsetzung kalt, durch Festsetzung Farbe, in Wirklichkeit aber: Atome und Leeres.“

Des Weiteren ist als Zusammenfassung seiner Lehren überliefert:¹²

„[Er sagt,] in dem Leeren zerstreut bewegten sich Substanzen, der Zahl nach unendlich wie auch unteilbar und unterschiedslos und ohne Qualität und für Einwirkung unempfindlich; wenn sie sich einander näherten oder zusammenstießen oder verflöchten, so träten einige dieser Anhäufungen als Wasser, andere als Feuer, andere als Pflanze und wieder andere als Mensch in Erscheinung. Alles seien die Atome [...], und weiter [sei] nichts.“

Folie 8

Auf Grundlage dieser und weiterer Fragmente lassen sich folgende Grundzüge der Atomtheorie von Leukipp und Demokrit herausarbeiten.¹³ Es gibt Atome und Leeres, also Volles

¹⁰[4], S. 31 f., Hervorhebungen im Original. Vgl. des Weiteren [19], S. 456, [16], S. 40, [2], S. 56, und [6], S. 411.

¹¹DK, 68 B 9, hier zitiert nach der deutschen Übersetzung in [24], S. 219. Mit „Festsetzung“ ist so viel wie „gebräuchliche Redeweise“ oder „Konvention“ gemeint.

¹²DK, 8 A 57, hier zitiert nach der deutschen Übersetzung in [23], S. 693.

¹³Für weitere Einzelheiten vgl. [27], insbesondere S. 139–145, sowie [25], S. 187–213.

und Nicht-Volles, das heißt Seiendes und Nicht-Seiendes. Dabei werden numerisch unendlich viele Atome angenommen¹⁴, die sich hinsichtlich Form, Anordnung, Position und Größe unterscheiden. Die Atome sind massive unteilbar kleinste Bestandteile der Materie, die unentstanden, unvergänglich und unveränderlich existieren.¹⁵ Aufgrund ihrer geringen Größen können Atome nicht gesehen werden.¹⁶ Wissenschaftstheoretisch betrachtet liegt somit – beispielsweise in der Sichtweise von KARL RAIMUND POPPER (1902–1994) – eine *Immunisierung der Theorie* vor. Die Theorie entzieht sich einer empirischen Überprüfung, sie ist nicht *falsifizierbar* und damit nach Popper nicht wissenschaftlich. Alles Seiende, das heißt alles, was ist, sind Aggregate aus Atomen (und Leerem).¹⁷ Alle Erscheinungen, alles Werden und Vergehen, jede Veränderung, jede Bewegung geht auf unterschiedliche Anordnung von Atomen zurück.

Folie 9

Heisenberg verortet die physikalische Theorie vom Aufbau der Materie seiner Zeit aber nicht in der Atomlehre von Leukipp und Demokrit, sondern betont vielmehr die Nähe zu den Vorstellungen Platons in seinem Dialog *Timaios*. Der *Timaios* gehört zum Spätwerk Platons, er gilt gemeinhin als *Platons Naturphilosophie und Kosmologie*¹⁸. Er umfasst eine Reihe von Themen, die ideengeschichtlich von größtem Einfluss für die neuzeitliche Naturwissenschaft waren, unter anderem *Platons Astronomie*, *Platons Theorie der Zeit*, *Platons Theorie des Raums* (χώρα), *Platons Theorie der Materie* und das, was man als *Platons Chemie* bezeichnen könnte.

Folie 10

Bei den Atomisten Leukipp und Demokrit sind die Atome die letzten Elemente, also unteilbare Materiestücke, die allem, was ist, zugrunde liegen. Platon seinerseits fragt hinter die Atome als vermeintliche Elemente zurück und bestimmt als eigentliche Elemente *geometrische Strukturen*, das heißt *mathematische Formen*. Auf Grundlage von zwei Arten von Elementardreiecken setzt er in einem ersten Schritt gleichseitige Dreiecke und Quadrate als 2-dimensionale Begrenzungsflächen für 3-dimensionale Körper zusammen, in einem zweiten Schritt baut er aus jeweils gleichen Begrenzungsflächen vier der fünf Platonischen Körper auf und in einem dritten Schritt schließlich ordnet diese den „Elementen“ Feuer, Luft, Wasser und Erde zu, die der vorsokratischen Philosoph EMPEDOKLES (495/494 v. Chr. – 435/434 v. Chr.) in Anknüpfung an Vorgänger zusammenfassend eingeführt hatte.

Folie 11

Nach Platon gibt es zwei Arten ausgezeichneter Dreiecke, die man als *Elementardrei-*

¹⁴Vgl. *DK*, 68 A 38.

¹⁵Vgl. hierzu [28], S. 337.

¹⁶Vgl. *DK*, 68 A 37.

¹⁷Das Leere (τὸ κενόν) meint nicht leeren Raum, in dem sich die Atome dann bewegen, sondern etwas, das auf der gleichen Stufe mit den Atomen steht (vgl. hierzu [25], S. 194 f.). Das ein derartiges Leeres anzunehmen durchaus sinnvoll ist, zeigt das Beispiel des Vakuums in den Wänden einer Thermosflasche, das zum Beispiel von zu Hause in die Schule und wieder zurück transportiert werden kann. Ein derartiges Leeres kann sich also genauso bewegen wie ein Atom.

¹⁸So betitelte beispielsweise der englische Altphilologe FRANCIS MACDONALD CORNFORD (1874–1943) seine kommentierte Übersetzung des *Timaios* als *Plato's Cosmology* (vgl. [3]).

ecke bezeichnen kann. Die erste Art von Elementardreieck E_1 ist das *gleichschenklige-rechtwinklige Dreieck*.¹⁹ Die zweite Art von Elementardreieck E_2 ist das rechtwinklige Dreieck mit einem 30°- und einem 60°-Winkel.²⁰ Bei ihm stehen Winkel wie Katheten in einem einfachen ganzzahligen Verhältnis von 2 : 1.

Folie 12

Ein Quadrat setzt sich aus vier Elementardreiecken E_1 zusammen²¹, ein gleichseitiges Dreieck besteht aus sechs Elementardreiecken E_2 .²² Für die Konstitution des Quadrats reichten bereits zwei Elementardreiecke E_1 , für die Herstellung des gleichseitigen Dreiecks genügten schon zwei Elementardreiecke E_2 . Aber durch die von Platon jeweils gewählte Zusammensetzung aus vier Elementardreiecken E_1 für das Quadrat beziehungsweise sechs Elementardreiecken E_2 für das gleichseitige Dreieck wird jeweils die Symmetrie sichtbar.²³

Folie 13

Das aus 24 Elementardreiecken E_2 bestehende Tetraeder wird dem Feuer, das aus 48 Elementardreiecken E_2 bestehende Oktaeder der Luft, das aus 120 Elementardreiecken E_2 bestehende Ikosaeder dem Wasser und der aus 24 Elementardreiecken E_1 bestehende Würfel der Erde zugeordnet.²⁴ Der aus zwölf regulären Fünfecken bestehende Dodekaeder entspricht, da er der Kugel nahe kommt, dem All.²⁵

Folie 14

Der Beweis, dass es genau fünf Platonische Körper, d. h. 3-dimensionale Körper, die von jeweils untereinander gleichen regulären 2-dimensionalen Vielecken begrenzt werden, gibt, wurde wohl von dem Mathematiker Theaitetos (um 415 v. Chr. – 369 v. Chr.) an der Platonischen Akademie gefunden. Er beruht auf folgenden drei Voraussetzungen:

1. Jeder Platonische Körper besitzt räumliche Ecken.

¹⁹Vgl. Platon, *Timaios*, 53 d.

²⁰Vgl. Platon, *Timaios*, 53 d und 54 a.

²¹Vgl. Platon, *Timaios*, 55 a.

²²Vgl. Platon, *Timaios*, 54 e.

²³Für das Quadrat ist die volle Symmetrie, die durch die Permutation der jeweiligen Eckpunkte dargestellt werden kann, durch die *Dieder-Gruppe* Di_4 gegeben:

$$Di_4 = D \cup \{\tau_1, \tau_2, \sigma_1, \sigma_2\}.$$

Hierbei beschreibt

$$D = \{\text{id}, \rho, \rho^2, \rho^3\}$$

mit $\rho = (1, 2, 3, 4)$ in Zykelschreibweise für Permutationen die Gruppe der Drehungen eines Quadrats, dessen Ecken von 1 bis 4 durchnummeriert sind. $\tau_1 = (2, 4)$ und $\tau_2 = (1, 3)$ entsprechen Achsenspiegelungen an jeweils einer der beiden Diagonalen des Quadrats als Achse, $\sigma_1 = (1, 4)(2, 3)$ und $\sigma_2 = (1, 2)(3, 4)$ Achsenspiegelungen an jeweils einer der beiden Seitenhalbierenden des Quadrats als Achse. Die Dieder-Gruppe Di_4 ist eine Untergruppe der *vollen Permutationsgruppe* oder *symmetrischen Gruppe vom Grad 4* S_4 :

$$Di_4 \subseteq S_4.$$

Vgl. hierzu zum Beispiel [17], S. 10, und [29], S. 6 und S. 29.

²⁴Vgl. Platon, *Timaios*, 54 e – 56 a.

²⁵Vgl. Platon, *Timaios*, 55 c.

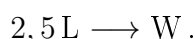
2. An jeder Ecke treffen mindestens drei Flächen zusammen.
3. Die Summe der Innenwinkel der an einer Ecke zusammentreffenden Flächen muss kleiner als 360° sein.

Unter diesen Voraussetzungen sind Körper möglich, bei denen jeweils an einer Ecke entweder drei oder vier oder fünf gleichseitige Dreiecke (Innenwinkel jeweils 60°) oder drei Quadrate (Innenwinkel jeweils 90°) oder drei Fünfecke (Innenwinkel jeweils 108°) zusammentreffen.

Folie 15

Platon versuchte eine *empirische Begründung* für seine Zuordnung zu geben.²⁶ So entspricht der Würfel der Erde, weil er als stabilste geometrische Form mit der Festigkeit der Erde in Verbindung gebracht werden kann.²⁷

Die „Elemente“ Feuer F, Luft L, Wasser W und Erde E können nicht aus kleinsten, unveränderlichen Atomen bestehen, da sie sich ineinander umwandeln können. Dies zeigt einerseits die Alltagserfahrung. So wird beispielsweise beim Regen aus Luft Wasser. Andererseits folgt die Teilbarkeit der Atome aus der Theorie, da eine Auflösung der zugrunde liegenden Platonischen Körper in Elementardreiecke möglich ist. Beispielsweise gilt:²⁸



Die möglichen Umwandlungen der Elemente ineinander führen auf einen *Kreislauf der Elemente*, genauer gesagt auf zwei voneinander unabhängige *Kreisläufe*. Feuer, Luft und Wasser lassen sich jeweils ineinander umwandeln. Erde kann sich zwar in Elementardreiecke auflösen, diese aber können sich nur wiederum zu Erde zusammensetzen. Der Grund für diese Beschränkung liegt darin, dass Erde aus Elementardreiecken E_1 besteht, während den anderen drei Elementen Feuer, Luft und Wasser Elementardreiecke E_1 zugrunde liegen. Wenn die Elementardreiecke jeweils elementar in dem Sinne sind, dass Elementardreiecke der beiden verschiedenen Klassen nicht ineinander überführt werden können, dann folgt unmittelbar das Verbot der Reaktion von Erde in Feuer, Luft oder Wasser.

Folie 16

Heisenberg fasst seine Interpretation von Platons Theorie der Materie folgendermaßen zusammen.²⁹

„Diese platonischen Körper, die sozusagen als Atome am Anfang stehen, das sind gar keine Atome; die sind gar nicht unveränderlich, sondern setzen sich aus den Dreiecken zusammen. Und diese Dreiecke sind auch schon nicht mehr materiell. Also am untersten Ende dieser Skala kommt nicht mehr Materie, sondern die mathematische Form.“

Demnach stellt Platon dem *Materialismus* der Atomisten Leukipp und Demokrit einen *Idealismus* entgegen. Hierbei sind die „Ideen“ *Strukturen* oder *mathematische Formen*.

²⁶Vgl. Platon, *Timaios*, 55 d – 56 b.

²⁷Vgl. Platon, *Timaios*, 55 d – 56 a.

²⁸Vgl. Platon, *Timaios*, 56 e.

²⁹[13], S. 418.

Folie 17

Gemäß einer durchaus weit verbreiteten, letztlich auf den christlichen Platonismus zurückgehenden Deutung, die aber meines Erachtens der Platonischen Philosophie nicht gerecht wird, unterscheidet Platon strikt zwischen Ideen, die als Gedankendinge hinter den Phänomenen liegen und das eigentlich Wirkliche sind („Ideenhimmel“), und den bloßen Erscheinungen, die nur Schein sind. Zwar differenziert Platon zwischen dem Bereich dessen, was unveränderlich ist, also dem Bereich der „Ideen“, das heißt Strukturen, und dem Bereich des Werdens und Vergehens, der Veränderung, der Bewegung, nämlich dem Bereich der Erscheinungen. Aber es gibt eine Beziehung zwischen beiden Bereichen, denn in den Erscheinungen manifestieren sich die Ideen, in den Phänomenen kommen die unveränderlichen Strukturen zur Erscheinung – dies ist die Bedeutung des altgriechischen Wortes ἀλήθεια: „Wahrheit“ als „Unverborgenheit des Seins“. Beispielsweise kommt, vereinfacht gesprochen, in einem rechteckigen Tisch die „Idee des Rechtecks“, also eine mathematische Struktur, zur Erscheinung.

Folie 18

Die mathematischen Formen bei Platon hängen mit Symmetrien zusammen, so wie die Elementarteilchen letztlich fundamentale Symmetrien widerspiegeln:³⁰

„In der modernen Physik wird dieser Gedanke [nämlich die Grundstrukturen der Natur darzustellen] in folgender Weise verwirklicht: Es wird in mathematischer Sprache ein grundlegendes Naturgesetz formuliert, eine ‚Weltformel‘, wie es gelegentlich genannt wurde, dem alle Naturerscheinungen genügen müssen, das also gewissermaßen nur die Möglichkeit, die Existenz der Natur symbolisiert. Die einfachsten Lösungen dieser mathematischen Gleichung repräsentieren die verschiedenen Elementarteilchen, die genau in demselben Sinne Grundformen der Natur sind, wie Plato die regulären Körper der Mathematik, Würfel, Tetraeder usw. als Grundformen der Natur aufgefaßt hat.“

Folie 19

Kollisionsexperimente mit „Elementarteilchen“ führen auf weitere „Elementarteilchen“, die aber nicht kleiner sind als die kollidierenden Teilchen.³¹ Die Anzahl von Elementarteilchen wie beispielsweise Elektronen ist bei derartigen Prozessen nicht erhalten.³² Dagegen sind aber die mit Symmetrien zusammenhängenden Quantenzahlen Erhaltungsgrößen. Daraus zieht Heisenberg die Folgerung:³³

„Am Anfang war die Symmetrie‘, das ist sicher richtiger als die Demokritische These ‚Am Anfang war das Teilchen‘. Die Elementarteilchen verkörpern die Symmetrien, sie sind ihre einfachsten Darstellungen, aber sie sind erst eine Folge der Symmetrien. [...] Die Elementarteilchen können mit den regulären Körpern in Platons ‚Timaios‘ verglichen werden. Sie sind die Urbilder, die Ideen der Materie.“

³⁰[7], S. 41.

³¹Vgl. [13], S. 419.

³²Vgl. [14], S. 1.

³³[8], S. 280 f.

Folie 20

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nach Heisenberg Symmetrien fundamentaler sind als Materie. Folglich sind die „Elemente“ nicht unteilbare Materiestücke, seien es nun Atome, Quarks, Elektronen oder Prionen, sondern mathematische Strukturen. Damit ist die Elementarteilchenphysik näher an Platons Theorie der Materie als – wie üblicherweise behauptet wird – an der Atomtheorie von Leukipp und Demokrit. Demnach wird ein einfacher Materialismus, dem gemäß alle Erscheinungen auf Materie und ihre Wechselwirkung zurückgeführt werden können, in Frage gestellt.

Folie 21

Auf einen ersten Blick mag man den hier skizzierten naturphilosophischen Bezügen der modernen Physik gegenüber hinsichtlich des schulischen Unterrichts eher zurückhaltend eingestellt sein. Zieht man exemplarisch die entsprechenden Lehrpläne der Bundesländer Rheinland-Pfalz und Bayern zu Rate, so wird jedoch die Berechtigung einer Berücksichtigung derartigen Inhalte im Unterricht deutlich. In den *Lehrpläne[n] für die Naturwissenschaftlichen Fächer* für Rheinland-Pfalz heißt es:³⁴

„Physikunterricht ermöglicht den Schülerinnen und Schülern, die Welt mit den ‚Augen der Physik‘ sehen zu lernen.“

Die obigen Betrachtungen haben aber gezeigt, dass ein atomistischer Materialismus nicht die einzige mögliche Sichtweise bezüglich der Deutung der Experimente der Elementarteilchenphysik ist, sondern dass die sich an Platons Theorie der Materie anlehrende Betrachtung, die letztlich fundamentalen Entitäten seien mathematische Strukturen, zumindest eine gleichberechtigte Perspektive ist. Im *LehrplanPLUS* für das „Gymnasium in Bayern“, der ab dem Schuljahr 2017/2018 gültig sein wird, steht:³⁵

„Physikalische Erkenntnisse sind Kulturgut, beeinflussen entscheidend unser Weltbild und berühren damit auch philosophische, ethische und religiöse Fragestellungen.“

Gerade Heisenberg hat sich, beeinflusst durch Platons Naturphilosophie, um das physikalische Weltbild bemüht.

Eine Verortung im Unterricht bietet sich aus meiner Sicht in den beiden genannten Bundesländern jeweils in der 9. Jahrgangsstufe an. In Rheinland-Pfalz wird der „Blick ins Innere der Teilchen“ im Rahmen des Kontextes „Geschichte und Kultur“ im „TF [Themenfeld] 7: Kosmos und Forschung. Physik als sich weiter entwickelnde Wissenschaft“ vorgenommen. In Bayern wird entsprechend der „Aufbau des Atomkerns aus Protonen und Neutronen, Aufbau der Nukleonen aus Quarks“ im „Lernbereich 3: Kernphysik“ behandelt.

Folien 22 bis 25*Quellen***Folie 26***Abschluss:*³⁶

³⁴[30], S. 91

³⁵*LehrplanPLUS* für das „Gymnasium in Bayern“, Fachprofil Physik.

³⁶[8], S. 284.

„Aber die unruhigen Zeiten [des Zweiten Weltkrieges und der unmittelbaren Nachkriegszeit] waren vorbei, und wir konnten in Ruhe über die großen Fragen meditieren, die Plato gestellt hatte und die vielleicht in der Physik der Elementarteilchen jetzt ihre Lösung fanden.“

Literaturverzeichnis

- [1] Max Born, Werner Heisenberg und Pascual Jordan. „Zur Quantenmechanik. II“. In: *Zeitschrift für Physik* 35 (1926), S. 557–615.
- [2] Wilhelm Bredthauer u. a. *Impulse Physik 12 für die Jahrgangsstufe 12 der Gymnasien in Bayern*. Neubearbeitung. Stuttgart/Leipzig: Ernst Klett, 2010.
- [3] Francis Macdonald Cornford. *Plato's Cosmology. The Timaeus of Plato*. Indianapolis/Cambridge: Hackett, 1997.
- [4] Roger Erb u. a. *Fokus Physik. Gymnasium Bayern 12*. Berlin: Cornelsen, 2010.
- [5] Johann Wolfgang Goethe. *Faust. Der Tragödie Erster Teil*. Stuttgart: Philipp Reclam, 2010.
- [6] Joachim Gomoletz u. a. *Metzler Physik*. Herausgegeben von Joachim Grehn und Joachim Krause. Braunschweig: Westermann Schroedel Diesterweg Schönningh Winklers, 2010.
- [7] Werner Heisenberg. „Das Naturbild Goethes und die technisch-wissenschaftliche Welt“. In: *Goethe. Neue Folge des Jahrbuchs der Goethe-Gesellschaft* 29 (1967), S. 27–42.
- [8] Werner Heisenberg. *Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik*. 12. Auflage. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1991.
- [9] Werner Heisenberg. *Gesammelte Werke/Collected Works, Abteilung/Series A, Teil/Part I: Original Scientific Papers. Wissenschaftliche Originalarbeiten*. Edited by Walter Blum, Hans-Peter Dürr und Helmut Rechenberg. Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer, 1985.
- [10] Werner Heisenberg. *Gesammelte Werke/Collected Works, Abteilung/Series A, Teil/Part II: Original Scientific Papers. Wissenschaftliche Originalarbeiten*. Edited by Walter Blum, Hans-Peter Dürr und Helmut Rechenberg. Berlin/Heidelberg/New York/London/Paris/Tokyo: Springer, 1989.
- [11] Werner Heisenberg. *Gesammelte Werke/Collected Works, Abteilung/Series A, Teil/Part III: Original Scientific Papers. Wissenschaftliche Originalarbeiten*. Edited by Walter Blum, Hans-Peter Dürr und Helmut Rechenberg. Berlin/Heidelberg/New York/London/Paris/Tokyo/Barcelona/Budapest: Springer, 1993.
- [12] Werner Heisenberg. *Ordnung der Wirklichkeit*. München: Piper, 1989.

- [13] Werner Heisenberg. „Philosophische Probleme in der Theorie der Elementarteilchen“. In: *Werner Heisenberg. Gesammelte Werke, Abteilung C: Allgemeinverständliche Schriften. Band II: Physik und Erkenntnis 1956–1968. Gifford Lectures, Sprache und Wirklichkeit, Abstraktion und Vereinheitlichung, Goethes Naturbild u. a.* Hrsg. von Walter Blum, Hans-Peter Dürr und Helmut Rechenbeg. Vortrag auf der Öffentlichen Sitzung der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig am 25. November 1967. München/Zürich: Piper, 1984, S. 410–422.
- [14] Werner Heisenberg. „Was ist ein Elementarteilchen?“. In: *Die Naturwissenschaften* 63 (1976), S. 1–7.
- [15] Werner Heisenberg. „Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik“. In: *Zeitschrift für Physik* 43 (1927), S. 172–198.
- [16] Ferdinand Hermann-Rottmair u. a. *Physik. Bayern Gymnasium. Lehrbuch für die Klasse 12.* Berlin: Duden Schulbuchverlag, 2010.
- [17] Hugh F. Jones. *Groups, Representations and Physics.* Bristol/Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1996.
- [18] Tobias Jung. „Philosophische Aspekte der Quantentheorie – ausgehend von der Heisenberg’schen Unbestimmtheitsrelation im Rahmen des gymnasialen Physikunterrichts in der Oberstufe“. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 64.4 (2015), S. 30–35.
- [19] Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Peter Häußler, Hrsg. *Physikdidaktik. Theorie und Praxis.* Berlin/Heidelberg: Springer, 2007.
- [20] Cornelia Liesenfeld. „Kosmosordnung und Denkkordnung: Die Gottesvorstellung im platonischen Weltbild Werner Heisenbergs“. In: *Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph. Verhandlungen der Konferenz ‚Werner Heisenberg als Physiker und Philosoph in Leipzig‘ vom 9.–12. Dezember 1991 an der Universität Leipzig.* Hrsg. von Bodo Geyer, Helge Herwig und Helmut Rechenberg. Heidelberg/Berlin/Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 1993, S. 344–355.
- [21] Cornelia Liesenfeld. *Philosophische Weltbilder des 20. Jahrhunderts. Eine interdisziplinäre Studie zu Max Planck und Werner Heisenberg.* Epistemata – Würzburger wissenschaftliche Schriften, Reihe Philosophie, Band 113. Dissertation an der Universität Konstanz, 1988. Würzburg: Königshausen & Neumann, 1992.
- [22] Cornelia Liesenfeld. „Zur platonischen Sprachphilosophie Werner Heisenbergs“. In: *Prima philosophia* 4.3 (1991), S. 353–373.
- [23] Jaap Mansfeld und Oliver Primavesi, Hrsg. *Die Vorsokratiker. Griechisch/Deutsch.* Durchgesehener Nachdruck der erweiterten Neuausgabe von 2011. Stuttgart: Philipp Reclam jun., 2012.
- [24] Christof Rapp. *Vorsokratiker.* München: C. H. Beck, 1997.
- [25] Christof Rapp. *Vorsokratiker. 2., überarbeitete Auflage.* München: C. H. Beck, 2007.
- [26] Gregor Schiemann. *Werner Heisenberg.* München: C. H. Beck, 2008.



- [27] Manfred Stöckler. „Demokrits Erben. Der Atomismus zwischen Philosophie und Physik“. In: *Philosophie der Physik*. Hrsg. von Michael Esfeld. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2012, S. 137–157.
- [28] Manfred Stöckler. „Hat sich Werner Heisenberg zu Recht auf Platon berufen?“. In: *Werner Heisenberg. Physiker und Philosoph. Verhandlungen der Konferenz ‚Werner Heisenberg als Physiker und Philosoph in Leipzig‘ vom 9.–12. Dezember 1991 an der Universität Leipzig*. Hrsg. von Bodo Geyer, Helge Herwig und Helmut Rechenberg. Heidelberg/Berlin/Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 1993, S. 335–343.
- [29] Shlomo Sternberg. *Group Theory and Physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [30] Volker (Verantwortung) Tschiedel, Andrea (Redaktion) Bürgin und Ute (Skriptbearbeitung) Nagelschmidt. *Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz. Biologie, Chemie, Physik. Klassenstufen 7 bis 9/10*. Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur. 2014. URL: http://lehrplaene.bildung-rp.de/no-cache/gehezu/startseite.html?tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bcontroller%5D=Download&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Baction%5D=forceDownload&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bfileid%5D=NzQ1MjM%3D.