

Werner Heisenberg

über die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft

Das ganzheitliche Wissenschaftsverständnis der ionischen Griechen, ihre Forderung nach der harmonischen Verbindung von Naturwissenschaft und Philosophie, fasziniert. Auch wenn diese Forderung seit vielen Jahrhunderten in den Hintergrund gestellt wurde, gab es immer wieder auch Forscher, die sie aufgriffen und zu erfüllen suchten.

Einer davon war der Physiker und Nobelpreisträger Werner Heisenberg (1901-1976). In vielen Vorträgen und populären Werken nahm Heisenberg zu den Gedanken griechischer Philosophen Stellung und setzte ihre weltanschaulichen Betrachtungen in Beziehung mit den Erkenntnissen der modernen Physik. Seine Verbundenheit mit der Gedankenwelt Sokrates' und Platons zeigt sich auch in seinem Vortrag »Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft«, den Heisenberg im Jahre 1970 in München vor der Bayerischen Akademie der Schönen Künste gehalten hat.

Von Barbara Sträuli-Eisenbeiss

Werner Heisenberg gilt als einer der größten Physiker des 20. Jahrhunderts. Er ist ein maßgeblicher Begründer der Quantenmechanik, das heißt jener erweiterten elementaren Mechanik, die das Erfassen und Beschreiben der Geschehnisse im Mikrokosmos ermöglicht. Bereits im Alter von 23 Jahren lieferte er entscheidende Arbeiten, die zu einem Verständnis der Bewegungen von Elementarteilchen führten. Mit 26 formulierte er die *Heisenbergsche Unschärferelation* und schuf mit dem Dänen *Niels Bohr* die *Kopenhagener Deutung* der Quantenmechanik. Für diese Leistungen erhielt er im Jahre 1933 den Nobelpreis für Physik.

Was an Heisenberg neben seiner Genialität und intellektuellen Brillanz besonders beeindruckt, ist sein Streben nach einem **ganzheitlichen Wissenschaftsverständnis**. Seit früher Jugend setzte er sich intensiv mit der philosophischen Seite der Wissenschaft auseinander. Schon als Gymnasiast beschäftigte er sich unter anderem mit dem Platon-Dialog *Timaios*, der in einer ungewöhnlichen Weise über die Ursachen und den Aufbau der sichtbaren Materie berichtet. Dieser Lektüre entnahm der junge Heisenberg Denkanstöße, die für seine spätere Arbeit Bedeutung erlangten. Ganz allgemein wurde ihm die Philosophie der ionischen Griechen, besonders in der Form ihrer wichtigsten Vertreter, Sokrates und Platon, zu einer Grundlage für seine eigene Sicht der Welt und somit auch für seine wissenschaftliche Arbeit. Geprägt hat ihn unter anderem die Vorstellung Platons, wonach das eigentliche Sein, die eigentliche Wirklichkeit, nicht in der irdischen, sinnlich wahrnehmbaren Welt liegt, sondern in einer geistig-transzendenten Realität. Diese Sicht sah Heisenberg durch die eigenen Erkenntnisse in der Quantenphysik bestätigt. Dementsprechend ernst nahm er die Forderung Platons, jene geistige Welt des wahren Seins zu erforschen und vor allem die unserer irdischen Welt zugrunde liegenden geistigen »Ideen« und »Urbilder« zu erfassen.

Die Thematik dieser Ideen und Urbilder behandelt Heisenberg auch in seinem Vortrag über die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft. Bevor wir diesen Vortrag vorstellen, möchten wir auf ein entscheidendes Ereignis aus Heisenbergs wissenschaftlicher Tätigkeit hinweisen, das den Physiker zutiefst geprägt hat und das seine Verbundenheit mit der ionischen Philosophie mit erklärt. Gemeint ist jenes für Heisenberg ergreifende Erlebnis, als ihm als junger Mann der Durchbruch im Verständnis der Quantenphysik gelang und sich ihm nach langem, vergeblichem Bemühen plötzlich der Nebel lichtete und sich vor ihm die Schönheit einer bislang unbekanntem geistigen Welt auftat.

Erlebnis in Helgoland

Um dieses Erlebnis würdigen zu können, bedarf es der kurzen Erwähnung der damaligen Verhältnisse in der Physik. Seit der Planckschen Entdeckung des Wirkungsquantums im Jahre 1900 war in der Physik ein Zustand der Verwirrung eingetreten. Die Erfahrungen in der Atomphysik zeigten, dass die Newtonsche Begriffsbildung nicht ausreicht, um an die mechanischen Phänomene im Innern der Atome heranzukommen. Die alten Regeln, nach denen man während mehr als 200 Jahren die Natur erfolgreich beschrieben hatte, wollten nicht mehr zu den neuen Erfahrungen passen. Aber auch diese Erfahrungen selbst waren in sich widersprüchlich. Eine Hypothese, die sich in einem Experiment bewährte, versagte in einem anderen. Die Schönheit und Geschlossenheit der alten Physik schien zerstört, ohne dass man aus den oft divergierenden Versuchen einen wirklichen Einblick in neue und andersartige Zusammenhänge hätte gewinnen können. Die Schwierigkeiten und inneren Widersprüche, die einem Verständnis der Atome und ihrer Stabilität entgegenstanden, konnten während nahezu 25 Jahren nicht beseitigt werden. Sie traten im Gegenteil immer schärfer hervor. Die Physiker machten die Erfahrung, in ihren Versuchen in ein undurchdringliches Dickicht von komplizierten mathematischen Formeln zu geraten, aus dem es keinen Ausweg gab. Im Frühsommer des Jahres 1925 schienen alle Bemühungen in einer Sackgasse zu enden. Der damals 25jährige Wolfgang Pauli, ein enger Freund Heisenbergs, klagt in einem Brief vom 21. Mai über die damalige Situation:

»Die Physik ist momentan wieder einmal sehr verfahren. Für mich ist sie jedenfalls viel zu schwierig, und ich wollte, ich wäre Filmkomiker oder so etwas und hätte nie etwas von Physik gehört. Nun hoffe ich aber doch, dass Bohr uns mit einer neuen Idee retten wird. Ich lasse ihn dringend darum bitten.«

Die so sehnlichst erwartete Idee kam jedoch nicht von Niels Bohr, sondern vom jungen Heisenberg, der damals als Privatdozent an der Universität Göttingen arbeitete. Heisenberg trat, nach eigenen Fehlschlägen, mit dem erkenntnistheoretisch bedeutungsvollen Ansatz an das Problem, dass nur tatsächlich beobachtbare Größen als die Bestimmungsstücke des Atoms zu betrachten seien. Am 24. Juni schrieb er an Pauli:

»Grundsatz ist: Bei der Berechnung von irgendwelchen Größen, als Energie, Frequenz usw., dürfen nur Beziehungen zwischen prinzipiell kontrollierbaren Größen vorkommen.«

Weil das Atomproblem noch zu kompliziert war, um es rechnerisch zu erfassen, suchte Heisenberg nach einem mathematisch einfacheren mechanischen System, das er mit seinem neuen Ansatz angehen konnte. Als ein solches bot sich ihm das schwingende Pendel oder allgemeiner der so genannte anharmonische Oszillator dar, der in der Atomphysik etwa als Modell von Schwingungen in Molekülen vorkommt. Heisenbergs Ansatz sollte sich als tragfähige Brücke für den lange gesuchten Übergang von der klassischen Physik zur Quantentheorie erweisen.

In seiner autobiographischen Schrift »Der Teil und das Ganze« berichtet er von jenem erschütternden Erlebnis, von seiner seelischen Ergriffenheit, als ihm plötzlich die Lösung aufschien und er die hinter den sinnlich wahrnehmbaren Gegebenheiten liegende mathematische Struktur zu erkennen vermochte. Dieser Durchbruch in der Ausarbeitung seiner Gedanken gelang auf der Insel Helgoland, wohin sich der unter starkem Heufieber leidende Heisenberg zurückgezogen hatte:

»In Helgoland gab es außer den täglichen Spaziergängen auf dem Oberland und den Badeunternehmungen zur Düne keinen äußeren Anlass, der mich von der Arbeit an meinem Problem abhalten konnte, und so kam ich schneller voran, als es mir in Göttingen möglich gewesen wäre. Einige Tage genügten, um den am Anfang in solchen Fällen immer auftretenden mathematischen Ballast abzuwerfen und eine einfache mathematische Formulierung meiner Frage zu finden. In einigen weiteren Tagen wurde mir klar, was in einer solchen Physik, in der nur die beobachtbaren Größen eine Rolle spielen sollten, an die Stelle der Bohr-Sommerfeldschen Quantenbedingungen zu treten hätte. Es war auch deutlich zu spüren, dass mit dieser Zusatzbedingung ein zentraler Punkt der Theorie formuliert war, dass von da ab keine weitere Freiheit mehr blieb. Dann aber bemerkte ich, dass es ja keine Gewähr dafür gäbe, dass das so entstehende mathematische Schema überhaupt widerspruchsfrei durchgeführt werden könnte. Insbesondere war es völlig ungewiss, ob in diesem Schema der Erhaltungssatz der Energie noch gelte, und ich durfte mir nicht verheimlichen, dass ohne den Energiesatz das ganze Schema wertlos wäre. Andererseits gab es in meinen Rechnungen inzwischen auch viele Hinweise darauf, dass die mir vorschwebende Mathematik wirklich widerspruchsfrei und konsistent entwickelt werden könnte, wenn man den Energiesatz in ihr nachweisen könnte. So konzentrierte sich meine Arbeit immer mehr auf die Frage nach der Gültigkeit des Energiesatzes, und eines Abends war ich soweit, dass ich darangehen konnte, die einzelnen Terme in der Energietabelle, oder wie man es heute ausdrückt, in der Energiematrix, durch eine nach heutigen Maßstäben reichlich umständliche Rechnung zu bestimmen. Als sich bei den ersten Termen wirklich der Energiesatz bestätigte, geriet ich in eine gewisse Erregung, so dass ich bei den folgenden Rechnungen immer wieder Rechenfehler machte. Daher wurde es fast drei Uhr nachts, bis das endgültige Ergebnis der Rechnung vor mir lag. Der Energiesatz hatte sich in allen Gliedern als gültig erwiesen, und - da dies ja alles von selbst, sozusagen ohne jeden Zwang herausgekommen war - so konnte ich an der mathematischen Widerspruchsfreiheit und Geschlossenheit der damit angedeuteten Quantenmechanik nicht mehr zweifeln. Im ersten Augenblick war ich zutiefst erschrocken. Ich hatte das Gefühl, durch die Oberfläche der atomaren Erscheinungen hindurch auf einen tief darunterliegenden Grund von merkwürdiger innerer Schönheit zu schauen, und es wurde mir fast schwindlig bei dem Gedanken, dass ich nun dieser Fülle von mathematischen Strukturen nachgehen sollte, die die Natur dort unten vor mir ausgebreitet hatte. Ich war so erregt, dass ich an Schlaf nicht denken konnte. So verließ ich in der schon beginnenden Morgendämmerung das Haus und ging an die Südspitze des Oberlandes, wo ein allein stehender, ins Meer vorspringender Felsturm mir immer schon die Lust zu Kletterversuchen geweckt hatte. Es gelang mir ohne größere Schwierigkeit, den Turm zu besteigen, und ich erwartete auf seiner Spitze den Sonnenaufgang.

Was ich in der Nacht von Helgoland gesehen hatte, war nun freilich nicht viel mehr als [sinnbildlich gesprochen] jene sonnenbeschienene Felskante in den Achenseer Bergen [die sich mir kürzlich am Ufer einer Wanderung nach Überwindung des Nebelmeers gezeigt hatte]. Aber der sonst so kritische Wolfgang Pauli, dem ich von meinen Ergebnissen berichtete, ermutigte mich, in der eingeschlagenen Richtung weiterzugehen. In Göttingen nahmen sich Max Born und Pascual Jordan der neuen Möglichkeit an. Der junge Engländer Dirac in Cambridge entwickelte eigene mathematische Methoden zur Lösung der hier gestellten Probleme, und schon nach wenigen Monaten war durch die konzentrierte Arbeit dieser Physiker ein geschlossenes, zusammenhängendes mathematisches Gebäude errichtet, von dem man hoffen konnte, dass es zu den vielfältigen Erfahrungen in der Atomphysik wirklich passte.«

Für Heisenberg wurde jene Nacht in Helgoland nicht nur in naturwissenschaftlicher Hinsicht zu einem prägenden Erlebnis. An verschiedenen Stellen in seinen Schriften verweist er auf eine Stelle im Platon-Dialog *Phaidros* (249 d - 251), wo Sokrates das Erschrecken der Seele beschreibt, wenn sich ihr hinter dem sinnlich Wahrnehmbaren plötzlich die unvergängliche, geistige Struktur zeigt; wenn sie plötzlich ewige, vom Menschen unabhängige Wahrheiten erblickt. Ideen, die in ihr präexistent geschlummert haben und ihr nun durch eine Art »Erleuchtung«, wie Heisenberg sich ausdrückt, ins Bewusstsein gelangen. Vor dem Hintergrund dieser philosophischen Betrachtungsweise steht der Vortrag über die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft.

Wo begegnet das Schöne in der Naturwissenschaft?

Heisenberg beginnt seinen Vortrag mit der Bemerkung, er möchte als erstes ohne jeden Versuch einer philosophischen Analyse des Begriffs 'schön' einfach einmal fragen, wo im Umkreis der exakten Wissenschaften das Schöne begegnen kann:

»Hier darf ich vielleicht mit einem persönlichen Erlebnis beginnen. Als ich als kleiner Junge die untersten Klassen des Max-Gymnasiums hier in München besuchte, interessierte ich mich für Zahlen. Es machte mir Freude, ihre Eigenschaften zu kennen, z.B. zu wissen, ob sie Primzahlen seien oder nicht, und zu probieren, ob sie vielleicht als Summen von Quadratzahlen dargestellt werden können, oder schließlich zu beweisen, dass es unendlich viele Primzahlen geben muss. Da mein Vater nun meine Lateinkenntnisse viel wichtiger fand als meine Zahleninteressen, brachte er mir einmal von der Staatsbibliothek eine lateinisch geschriebene Abhandlung des Mathematikers Kronecker mit, in der die Eigenschaften der ganzen Zahlen in Beziehung gesetzt wurden zu dem geometrischen Problem, einen Kreis in eine Anzahl gleicher Teile zu teilen. Wie mein Vater gerade auf diese Untersuchung aus der Mitte des vorigen Jahrhunderts verfallen ist, weiß ich nicht. Aber das Studium der Kroneckerschen Abhandlung machte mir einen tiefen Eindruck; denn ich empfand es ganz unmittelbar als schön, dass man aus dem Problem der Kreisteilung, dessen einfachste Fälle uns ja aus der Schule bekannt waren, etwas über die ganz andersartigen Fragen der elementaren Zahlentheorie lernen konnte. Ganz in der Ferne glitt wohl auch schon die Frage vorbei, ob es die ganzen Zahlen und die geometrischen Formen gibt, d. h., ob es sie außerhalb des menschlichen Geistes gibt oder ob sie nur von diesem Geist als Werkzeug zum Verständnis der Welt gebildet worden sind. Aber über solche Probleme konnte ich damals noch nicht nachdenken. Nur der Eindruck von etwas sehr Schöнем war ganz direkt, er bedurfte keiner Begründung oder Erklärung. - Aber was war hier schön?«

Um dieser Frage nachzugehen, orientiert sich Heisenberg an jener Definition der Schönheit, die in der ionischen Philosophie gegeben wurde:

»Schönheit ist die richtige Übereinstimmung der Teile miteinander und mit dem Ganzen.«

»Die Teile, das sind hier die Eigenschaften der ganzen Zahlen, Gesetze über geometrische Konstruktionen, und das Ganze ist offenbar das dahinter stehende mathematische Axiomensystem, zu dem die Arithmetik und die Euklidische Geometrie gehören; also der große Zusammenhang, der durch die Widerspruchsfreiheit des Axiomensystems garantiert wird [Axiom = als absolut richtig anerkannter Grundsatz, gültige Wahrheit, die keines Beweises bedarf]. Wir erkennen, dass die einzelnen Teile zusammenpassen, dass sie eben als Teile zu diesem Ganzen gehören, und wir empfinden die Geschlossenheit und Einfachheit dieses Axiomensystems ohne jede Reflexion als schön. Die Schönheit hat also zu tun mit dem uralten Problem des "Einen" und des "Vielen", das - damals in engem Zusammenhang mit dem Problem von "Sein" und "Werden" - im Mittelpunkt der frühen griechischen Philosophie gestanden hat.«

Die Suche nach einer Erklärung der sichtbaren Erscheinungen

Da auch die Wurzeln der exakten Naturwissenschaften in der griechischen Philosophie liegen, kommt Heisenberg auf die Geisteswelt der Griechen zu sprechen. Das Anliegen der frühen Naturphilosophie war es gewesen, die Welt und ihre mannigfachen Erscheinungen zu verstehen. Dabei stand die Frage nach dem Grundprinzip im Zentrum, durch das die bunte Vielfalt der Dinge erklärt werden kann. Ein Weg, der dabei eingeschlagen wurde, war jener, dieses Grundprinzip im Materiellen zu suchen. In diesem Zusammenhang sieht Heisenberg die bekannte Antwort von Thales von Milet, der angeblich im *Wasser* die materielle Ursubstanz erblickt habe. Diese Antwort nennt Heisenberg insofern bedeutungsvoll, als sie drei philosophische Grundforderungen enthält, die für die Entwicklung der Erkenntnistheorie von Wichtigkeit geworden sind, nämlich:

- Erstens, dass der Mensch nach einem einheitlichen Grundprinzip forschen soll.
- Zweitens, dass die Antwort rational und nicht durch einen Hinweis auf einen Mythos oder auf unsichere Vermutungen gegeben werden darf.
- Und drittens, dass die materielle Seite der Welt bei der Erforschung des Seins eine entscheidende Rolle spielen muss.

Hinter diesen Forderungen steht unausgesprochen die Erkenntnis, dass Verstehen immer nur heißen kann: Zusammenhänge, das heißt einheitliche Züge, Merkmale der Verwandtschaft, in der Vielfalt zu erkennen.

Neben den Versuchen, das Grundprinzip der veränderlichen, sichtbaren Dinge in einem materiellen Stoff zu finden, gab es damals auch einen anderen Weg der Forschung, der den Urgrund aller Dinge im *Geistigen* suchte. Es ist der Weg, der zu den *Ideen* Platons führte und der laut Heisenberg auch unmittelbar an die Thematik des Schönen heranzuführt.

»Dieser Weg beginnt in der Schule des Pythagoras. In ihr soll der Gedanke entstanden sein, dass die Mathematik, die mathematische Ordnung, das Grundprinzip sei, von dem aus die Vielfalt der Erscheinungen verständlich gemacht werden könnte.«

Von Pythagoras selbst ist zwar nur wenig bekannt; doch zweifellos spielte in seiner Schule die Beschäftigung mit Musik und Mathematik eine wichtige Rolle.

»Hier soll von Pythagoras die berühmte Entdeckung gemacht worden sein, dass gleich gespannte schwingende Saiten dann harmonisch zusammenklingen, wenn ihre Längen in einem einfachen rationalen Zahlenverhältnis stehen. Die mathematische Struktur, nämlich das rationale Zahlenverhältnis als Quelle der Harmonie - das war sicher eine der folgenschwersten Entdeckungen, die in der Geschichte der Menschheit überhaupt gemacht worden sind. Das harmonische Zusammen tönen zweier Saiten ergibt einen schönen Klang. Das menschliche Ohr empfindet die Dissonanz durch die aus den Schwebungen entstehende Unruhe als störend, aber die Ruhe der Harmonie, die Konsonanz, als schön. Die mathematische Beziehung war damit auch die Quelle des Schönen.«

Verbinden wir diesen Sachverhalt mit der eingangs Gegebenen Definition des Schönen. wonach Schönheit die richtige Übereinstimmung der Teile miteinander und die dem Ganzen ist:

»Die Teile sind hier die einzelnen Töne, das Ganze ist der harmonische Klang. Die mathematische Beziehung kann also zwei zunächst unabhängige Teile zu etwas Ganzem zusammenfügen und damit Schönes hervorbringen. Es war diese Entdeckung, die in der Lehre der Pythagoreer den Durchbruch zu ganz neuen Formen des Denkens bewirkt und dazu geführt hat, dass als Ugrund alles Seienden nicht mehr in sinnlicher Stoff - wie das Wasser bei Thales -, sondern ein ideelles Formprinzip angesehen wurde. Da- mit war ein Grundgedanke ausgesprochen, der später das Fundament aller exakten Naturwissenschaften gebildet hat. [...]

Das Verständnis der bunten Mannigfaltigkeit der Erscheinungen soll also dadurch zustande kommen, dass wir in ihr einheitliche Formprinzipien erkennen, die in der Sprache der Mathematik ausgedrückt werden können. Damit wird auch ein enger Zusammenhang zwischen dem Verständlichen und dem Schönen hergestellt. Denn wenn das Schöne als Übereinstimmung der Teile untereinander und mit dem Ganzen erkannt wird und wenn andererseits alles Verständnis erst durch diesen formalen Zusammenhang zustande kommen kann, so wird das Erlebnis des Schönen fast identisch mit dem Erlebnis des verstandenen oder wenigstens geahnten Zusammenhangs.«

Die Ideenlehre Platons

»Der nächste Schritt auf diesem Wege ist von Platon durch die Formulierung seiner Ideenlehre getan worden. Platon stellt den unvollkommenen Gebilden der körperlichen Sinneswelt die vollkommenen mathematischen Formen gegenüber, etwa den unvollkommenen Kreisbahnen der Gestirne den vollkommenen mathematisch definierten Kreis. Die materiellen Dinge sind die Abbilder, die Schattenbilder der idealen wirklichen Gestalten. [...] Diese idealen Gestalten sind wirklich, weil und insofern sie im materiellen Geschehen wirksam werden. Platon unterscheidet also hier in voller Klarheit ein den Sinnen zugängliches körperliches Sein und ein rein ideelles Sein, das nicht durch die Sinne, sondern nur in geistigen Akten erfassbar wird. Dabei bedarf dieses ideelle Sein keineswegs des menschlichen Denkens, um von ihm hervorgebracht zu werden. Es ist im Gegenteil das *eigentliche Sein*, dem die körperliche Welt und das menschliche Denken erst nachgebildet sind.«

Das Erfassen der Ideen geschieht, wie im voraus- gehenden Artikel angedeutet, weniger durch verstandesmäßiges Erkennen, sondern mehr durch intuitives Schauen:

»Es ist eine Wiedererinnerung an Formen, die der Seele schon *vor* ihrem Erdendasein eingepflanzt worden sind. Die zentrale Idee ist die des Schönen und Guten, in der das Göttliche sichtbar wird und bei deren Anblick die Flügel der Seele wachsen. An dieser Stelle im "Phaidros" wird der Gedanke ausgesprochen: Die Seele erschrickt, sie erschauert beim Anblick des Schönen, da sie spürt, dass etwas in ihr aufgerufen wird, das ihr nicht von außen durch die Sinne zugetragen worden ist, sondern das in ihr in einem tief unbewussten Bereich schon immer an- gelegt war. Aber kehren wir wieder zum Verstehen und damit zur Naturwissenschaft zurück. Die bunte Vielfalt der Erscheinungen kann verstanden werden, so sagen Pythagoras und Platon, weil und insofern hier *einheitliche Formprinzipien* zugrunde liegen, die einer mathematischen Darstellung zugänglich sind. Damit ist eigentlich schon das ganze Programm der heutigen exakten Naturwissenschaft vorweggenommen.«

Aristoteles und die Kluft zwischen Theorie und Erfahrung

Dass die Durchführung dieses Programms im Altertum zum Stillstand kam, liegt im Wesentlichen an der Philosophie und dem Wissenschaftsverständnis des Aristoteles. Durch Aristoteles wurde der transzendenzoffene Weg der Forschung, der über die sinnlich wahrnehmbare Welt das in und hinter ihr liegende Urbild zu erfassen sucht, verlassen. Dies ist für das vorliegende Thema insofern von größter Bedeutung, als sich dadurch für lange Zeit eine Kluft auftat zwischen dem Weg zur Erkenntnis und dem Weg zum Schönen: In Aristoteles' Forschung hatte die Vorstellung von einheitlichen Formprinzipien, nach denen Pythagoras und Platon gefragt hatten, keine Bedeutung. Für Aristoteles stand die Beschreibung der sichtbaren Einzelheiten im Mittelpunkt - und zwar in dem Sinne, dass er in den empirisch erfassbaren Erscheinungen der beobachtbaren Natur die eigentliche Wirklichkeit erblickte. Im Grunde genommen war Aristoteles ein materialistischer Denker; die Vorstellung der ionischen Philosophen, dass die eigentliche Wirklichkeit, das eigentliche Sein, in einer geistigen, transzendenten Welt liegt und unsere materielle Welt bloß ein veränderliches, vergängliches Abbild, eine Welt der Erscheinung, darstellt, war ihm fremd beziehungsweise konnte oder wollte er nicht nachvollziehen. Weil er das Anliegen der Pythagoreer oder der Platoniker, das Wahre im Transzendenten zu suchen, nicht verstand, warf er ihnen - wie Heisenberg aus Aristoteles' *Metaphysik* zitiert - auch vor, dass sie

»nicht im Hinblick auf die Tatsachen nach Erklärungen und Theorien suchten, sondern im Hinblick auf gewisse Theorien und Lieblingsmeinungen an den Tatsachen zerrten und sich, man möchte sagen, als Mitordner des Weltalls aufspielten.«

Aristoteles ist maßgeblich dafür verantwortlich, dass sich in der Wissenschaft eine Kluft auftat zwischen Theorie und Empirie (Erfahrung). Diese Trennung wurde für die naturwissenschaftliche Forschung katastrophal, denn reine Theorie beziehungsweise, so Heisenberg,

»reine mathematische Spekulation wird unfruchtbar, weil sie aus einem Spiel mit der Fülle der möglichen Formen nicht mehr zurückfindet zu den ganz wenigen Formen, nach denen die Natur wirklich gebildet ist. Und die reine Empirie wird unfruchtbar, weil sie schließlich in endlosen Tabellenwerken ohne inneren Zusammenhang erstickt. Nur aus der Spannung, aus dem Spiel zwischen der Fülle der Tatsachen und den vielleicht dazu passenden mathematischen Formen können die entscheidenden Fortschritte kommen.«

Rückbesinnung auf Platon

»Die Bedeutung des Schönen für das Verständnis der Natur wurde erst wieder deutlich sichtbar, als man mit dem Beginn der Neuzeit von Aristoteles zu Platon zurückgefunden hatte. Und erst durch diese Wendung offenbarte sich die ganze Fruchtbarkeit der von Pythagoras und Platon eingeleiteten Denkweise.

Schon die berühmten Fallversuche, die Galilei wohl doch nicht am Schiefen Turm zu Pisa vorgenommen hat, zeigen das aufs deutlichste. Galilei beginnt mit sorgfältigen Beobachtungen ohne Rücksicht auf die Autorität des Aristoteles, doch er versucht, den Lehren des Pythagoras und Platons folgend, mathematische Formen zu finden, die den empirisch gewonnenen Tatsachen entsprechen, und so gelangt er zu seinen Fallgesetzen. Aber er muss, und das ist ein entscheidender Punkt, um die Schönheit mathematischer Formen in den Erscheinungen wieder zu erkennen, die Tatsachen *idealisieren* oder, wie Aristoteles tadelnd formuliert hatte, sie verzerren. Aristoteles hatte gelehrt, dass alle bewegten Körper ohne Einwirkung von äußeren Kräften schließlich zur Ruhe kommen, und das war die allgemeine Erfahrung. Galilei behauptet im Gegenteil, dass die Körper ohne äußere Kräfte im Zustand gleichförmiger Bewegung verharren. Galilei konnte diese Verzerrung der Tatsachen wagen, weil er darauf hinweisen konnte, dass bewegte Körper ja stets einem Reibungswiderstand ausgesetzt sind und dass die Bewegung in der Tat um so länger bestehen bleibt, je besser die Reibungskräfte ausgeschaltet werden können. Er gewann für diese Verzerrung der Tatsachen, für diese Idealisierung, ein einfaches mathematisches Gesetz, und das war der Anfang der neuzeitlichen exakten Naturwissenschaft.

Einige Jahre später gelang es Kepler, in den Ergebnissen seiner sehr sorgfältigen Beobachtungen über die Planetenbahnen neue mathematische Formen zu entdecken und seine berühmten drei Keplerschen Gesetze zu formulieren. Wie nahe sich Kepler bei diesen Entdeckungen den alten Gedankengängen des Pythagoras fühlte und wie sehr die Schönheit der Zusammenhänge bei ihrer Formulierung ihn leitete, geht schon daraus hervor, dass er die Umschwünge der Planeten um die Sonne mit Schwingungen einer Saite verglich und von einem harmonischen Zusammenklang der verschiedenen Planetenbahnen sprach, von der Harmonie der Sphären, und dass er schließlich am Ende seines Werkes über die Weltharmonie in den Jubelruf ausbricht: "Dir sage ich Dank, Herrgott unser Schöpfer, dass Du mich die Schönheit schauen lässt in Deinem Schöpfungswerk." Kepler war zutiefst ergriffen davon, dass er hier auf einen ganz zentralen Zusammenhang gestoßen war, der nicht von Menschen erdacht und den zum ersten Mal zu erkennen ihm vorbehalten war, einen Zusammenhang von höchster Schönheit. Einige Jahrzehnte später hat Isaac Newton in England diesen Zusammenhang vollends freigelegt und in seinem großen Werk "Philosophiae naturalis principia mathematica" im einzelnen beschrieben. Damit war der Weg der exakten Naturwissenschaft für fast zwei Jahrhunderte vorgezeichnet. «

»Das Einfache ist das Siegel des Wahren«

Dass es sich bei der Newtonschen Mechanik nicht nur um eine Erkenntnis, sondern zugleich um das Schöne handelt, ist für Heisenberg offensichtlich; denn auf die Newtonsche Mechanik trifft in höchstem Masse das Kriterium der antiken Definition von Schönheit zu, wonach Schönheit die richtige Übereinstimmung der Teile **mit-** einander und **mit** dem Ganzen ist:

»Die Teile, das sind [hier] die einzelnen mechanischen Vorgänge; jene, die wir durch Apparate sorgfältig isolieren, ebenso wie jene, die im bunten Spiel der Erscheinungen unentwirrbar vor uns ablaufen. Und das Ganze ist eben das einheitliche Formprinzip, dem sich alle diese Vorgänge fügen und das von Newton in einem einfachen System von Axiomen mathematisch festgelegt worden ist. Einheitlichkeit und Einfachheit sind zwar nicht genau dasselbe. Aber die Tatsache, dass in einer solchen Theorie dem Vielen das Eine gegenübergestellt wird, dass in ihm das Viele vereinigt wird, hat doch wohl von selbst zur Folge, dass sie von uns auch zugleich einfach und schön empfunden wird.«

Das Schöne ist für die Aufdeckung von Zusammenhängen. für das Auffinden des Wahren von großer Bedeutung. Dies ist zu allen Zeiten erkannt und hervorgehoben worden:

»Der lateinische Leitsatz: "simplex sigillum ven", "Das Einfache ist das Siegel des Wahren", steht in großen Lettern im Physikhörsaal der Universität Göttingen als Mahnung für jene, die Neues entdecken wollen, und der andere lateinische Leitsatz: "Pulchritudo splendor veritatis", "Die Schönheit ist der Glanz der Wahrheit", kann auch so gedeutet werden, dass der Forscher die Wahrheit zuerst an diesem Glanz, an ihrem Hervorleuchten des großen Zusammenhangs das entscheidende Signal für den bedeutenden Fortschritt geworden. Ich denke hier an zwei Ereignisse in der Physik unseres Jahrhunderts, die Entstehung der Relativitätstheorie und der Quantentheorie. In beiden Fällen ist eine verwirrende Fülle von Einzelheiten nach jahrelangen vergeblichen Bemühungen um Verständnis fast plötzlich geordnet worden, als ein zwar reichlich unanschaulicher, aber doch in seiner Substanz letztlich einfacher Zusammenhang auftauchte, der durch seine Geschlossenheit und abstrakte Schönheit unmittelbar überzeugte - alle jene überzeugte, die eine solch abstrakte Sprache verstehen und sprechen können.«

Die Leuchtkraft des Einfachen

1. Das unermessliche Entfaltungspotential

Worin besteht nun aber der große Glanz und die Leuchtkraft des Einfachen? Die Antwort ist vielschichtig. Zum einen liegt die Leuchtkraft im *unermesslichen Entfaltungspotential*. Heisenberg verweist hier auf das Phänomen, das man die Entfaltung abstrakter Strukturen nennen kann, und erklärt dies am Beispiel der Zahlentheorie:

»Für die mathematische Begründung der Arithmetik, der Zahlenlehre, genügen einige wenige einfache Axiome, die eigentlich nur genau definieren, was zählen heißt. Aber mit diesen wenigen Axiomen ist doch schon die ganze Fülle der Formen gesetzt, die erst im Laufe einer langen Geschichte ins Bewusstsein der Mathematiker getreten sind, die Lehre von den Primzahlen, von den quadratischen Resten, von den Zahlenkongruenzen usw. Man kann sagen, dass sich die mit dem Zählen gesetzten abstrakten Strukturen erst im Laufe der Geschichte der Mathematik sichtbar entfaltet haben, dass sie die Fülle von Sätzen und Zusammenhängen hervorgebracht haben, die den Inhalt der komplizierten Wissenschaft der Zahlentheorie ausmachen.«

Heisenberg erläutert die Entfaltungskraft des Einfachen noch an einem weiteren Beispiel:

»In ähnlicher Weise stehen ja auch am Anfang eines Kunststils, etwa in der Architektur, gewisse einfache Grundformen, z.B. der Halbkreis und das Quadrat in der romanischen Architektur. Aus diesen Grundformen entstehen im Laufe der Geschichte neue, komplizierte, auch veränderte Formen, die doch irgendwie als Variationen zum gleichen Thema aufgefasst werden können; und so entfaltet sich aus den Grundstrukturen eine neue Weise, ein neuer Stil des Bauens. Man hat das Gefühl, dass diesen ursprünglichen Formen doch die Entfaltungsmöglichkeiten schon zu Beginn angesehen werden können; denn sonst wäre es kaum verständlich, dass viele begabte Künstler sich sehr schnell entschließen, diesen neuen Möglichkeiten nachzugehen.

Eine solche Entfaltung der abstrakten Grundstrukturen hat zweifellos auch in den Fällen stattgefunden, die ich für die Geschichte der exakten Naturwissenschaften aufgezählt habe. Dieses Wachstum, das Entwickeln immer neuer Zweige hat bei der Newtonschen Mechanik bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts gedauert. In der Relativitätstheorie und in der Quantentheorie haben wir Ähnliches in diesem Jahrhundert miterlebt, und das Wachstum ist noch nicht abgeschlossen.«

2. Der soziale und ethische Aspekt

Die Leuchtkraft des Einfachen zeigt sich aber noch in einer weiteren Hinsicht. Heisenberg verweist auf die wichtige *soziale und ethische Bedeutung*, die der wissenschaftliche Entfaltungsprozess besitzt. Heisenberg knüpft hier an die Auffassung der ionischen Philosophen an, wonach die Beschäftigung mit Wissenschaft und mit abstrakten Grundstrukturen den Menschen in seiner seelischen Entwicklung fördert. In den Dialogen Platons finden wir verschiedentlich die Erklärung, dass die wissenschaftliche Arbeit die Vernunft schult und den Menschen dazu bringt, sein Denken auf Allgemeingültiges, Wahres auszurichten. Durch die Beschäftigung mit wissenschaftlichen Fächern kann dem Mensch bewusst werden, dass es klare Kriterien von Richtig und Falsch gibt und er sich nach Gesetzen und nach einer Ordnung auszurichten hat. Dieser Erkenntnisprozess ist um so wertvoller, wenn er in der gedeihlichen Zusammenarbeit mit dem Mitmenschen geschieht. Heisenberg erklärt diesen ethischen und sozialen Aspekt anhand verschiedener Beispiele:

»Wenn im Mittelalter eine große Kathedrale gebaut werden sollte, so waren viele Baumeister und Handwerker beschäftigt. Sie waren erfüllt von der Vorstellung von Schönheit, die durch die ursprünglichen Formen gesetzt war, und sie waren durch ihre Aufgabe gezwungen, im Sinne dieser Formen genaue, sorgfältige Arbeit zu leisten. In ähnlicher Weise hatten in den zwei Jahrhunderten nach der Newtonschen Entdeckung viele Mathematiker, Physiker und Techniker die Aufgabe, einzelne mechanische Probleme nach den Newtonschen Methoden zu behandeln, Experimente auszuführen oder technische Anwendungen vorzunehmen, und auch hier wurde stets äußerste Sorgfalt verlangt, um das im Rahmen der Newtonschen Mechanik Mögliche zu erreichen. Vielleicht darf man allgemein sagen, dass durch die zugrunde liegenden Strukturen, in diesem Falle die Newtonsche Mechanik, Richtlinien gezogen oder sogar Wertmassstäbe gesetzt werden, an denen objektiv entschieden werden kann, ob eine gestellte Aufgabe gut oder schlecht gelöst worden ist. Gerade dadurch, dass hier präzise Forderungen gestellt werden, dass der Einzelne durch kleine Beiträge mitwirken kann an dem Erreichen großer Ziele, dass über den Wert seines Beitrags objektiv entschieden werden kann, entsteht die Befriedigung, die von einer solchen Entwicklung für den großen beteiligten Kreis von Menschen ausgeht. Daher darf man auch die ethische Bedeutung der Technik für die heutige Zeit nicht unterschätzen.

Aus der Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik ist z.B. auch die Idee des Flugzeugs hervorgegangen. Der einzelne Techniker, der irgendein Teilgerät für das Flugzeug konstruiert, der Arbeiter, der es herstellt, weiß, dass es auf die äußerste Genauigkeit und Sorgfalt bei seiner Arbeit ankommt, dass vielleicht sogar das Leben vieler Menschen von seiner Zuverlässigkeit abhängt. Daher gewinnt er den Stolz, den eine gut geleistete Arbeit gewährt, und er freut sich mit uns an der Schönheit des Flugzeugs, wenn er empfindet, dass in ihm das technische Ziel mit den richtigen, angemessenen Mitteln verwirklicht ist. Schönheit ist, so lautete die nun schon mehrfach zitierte antike Definition, die richtige Übereinstimmung der Teile miteinander und mit dem Ganzen, und diese Forderung muss auch in einem guten Flugzeug erfüllt werden.«

Präexistente Ideen als Voraussetzung einer wissenschaftlichen Theorie

Mit dem Hinweis auf die Entfaltung der schönen Grundstruktur und auf die ethische und soziale Bedeutung des Entfaltungsprozesses ist für Heisenberg aber eine wesentliche Frage noch nicht beantwortet - nämlich die Frage, *was* denn in diesen Strukturen oder einheitlichen Formprinzipien aufleuchtet, *was* eigentlich die Quelle des Schönen ist. An dieser Stelle kommt Heisenberg wieder auf die bereits erwähnten »Ideen« Platons zu sprechen, die den materiellen Verhältnissen und Geschehnissen zugrunde liegen und die gemäß der ionischen Philosophie in der menschlichen Seele präexistent vorhanden sind. Es sind dies jene Ideen, die zuerst durch Intuition erfasst werden und die gerade auch im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess eine so bedeutungsvolle Rolle spielen. Im Zusammenhang mit diesen präexistenten Ideen verweist Heisenberg auf zwei Forscher, die sich mit dieser Thematik auseinandergesetzt haben. Der eine ist Johannes Kepler (1571-1630), der dieses Aufleuchten oder Hervorleuchten von ewigen, im Menschen präexistenten Ideen in seiner Forschung selber empfunden hatte und der in diesem Sinne erklärte, dass ihm die Richtigkeit des Kopernikanischen Systems weniger durch die einzelnen astronomischen Beobachtungsergebnisse und durch logisches Schließen aufgegangen sei, sondern vielmehr durch ein intuitives Ahnen, durch ein Bewusstwerden eines im Innern vorhandenen Urbildes. Der andere Forscher, den Heisenberg in diesem Zusammenhang nennt, ist Wolfgang Pauli:

»Ähnliche Gedanken wie bei Kepler sind in einem Aufsatz von Wolfgang Pauli ausgesprochen. Pauli schreibt: "Der Vorgang des Verstehens in der Natur sowie auch die Beglückung, die der Mensch beim Verstehen, d. h. beim Bewusstwerden einer neuen Erkenntnis, empfindet, scheint demnach auf einer Entsprechung, einem Zur-Deckung-Kommen von präexistenten inneren Bildern der menschlichen Psyche mit äußeren Objekten und ihrem Verhalten zu beruhen. Diese Auffassung der Naturerkenntnis geht bekanntlich auf Platon zurück und wird [...] auch von Kepler in sehr klarer Weise vertreten. Dieser spricht in der Tat von Ideen, die im Geiste Gottes präexistent sind und die der Seele, als dem Ebenbild Gottes, mit eingeschaffen wurden. [...] Als anordnende Operatoren und Bildner in dieser Welt der symbolischen Bilder funktionieren die Archetypen [im Menschen innewohnende Bilder] eben als die gesuchte Brücke zwischen den Sinneswahrnehmungen und den [geistigen] Ideen und sind demnach auch eine notwendige Voraussetzung für die Entstehung einer naturwissenschaftlichen Theorie."«

Mit dem Bewusstwerden eines in der Seele präexistent vorhandenen Bildes ist der Erkenntnisprozess aber laut Heisenberg noch nicht abgeschlossen. Es bedarf nun der Nachprüfung, ob sich das durch Intuition Erfasste auch bestätigen lässt:

»Wenn Kepler die Überzeugung von der Richtigkeit des Kopernikanischen Systems also auch aus solchen Urbildern gewonnen hat, so bleibt es doch eine entscheidende Voraussetzung jeder brauchbaren wissenschaftlichen Theorie, dass sie hinterher der empirischen Nachprüfung und der rationalen Analyse stand hält. [...] Das Kopernikanische System, die Keplerschen Gesetze und die Newtonsche Mechanik haben sich hinterher bei der Deutung der Erfahrungen, der Beobachtungsergebnisse und in der Technik in einem solchen Umfang und mit einer solch extremen Genauigkeit bewährt, dass an ihrer Richtigkeit seit Newtons "Principia" nicht mehr gezweifelt werden konnte. Aber es handelt sich doch auch hier um eine Idealisierung, so wie Platon es für notwendig gehalten und Aristoteles es getadelt hatte.«

Der gleiche Ablauf im Erkenntnisprozess hat sich rund 200 Jahre später auch in der Quantenphysik ereignet. Nach einer jahrzehntelangen Ratlosigkeit angesichts der widersprüchlich erscheinenden Geschehnisse im atomaren Bereich stand am Beginn der Erkenntnis das intuitive Ahnen der Zusammenhänge. Erst in einem zweiten Schritt haben sich diese Zusammenhänge mathematisch präzisieren und der vollen rationalen Analyse zugänglich machen lassen. In Erinnerung an die eigenen Gefühle, als sich bei der Behandlung der Problematik endlich der Nebel lichtete und sich die hinter den Geschehnissen liegende mathematische Struktur zeigte, schließt Heisenberg seinen Vortrag:

»In dem Moment aber, in dem die richtigen Ideen auftauchen, spielt sich in der Seele dessen, der sie sieht, ein ganz unbeschreiblicher Vorgang von höchster Intensität ab. Es ist das staunende Erschrecken, von dem Platon im "Phaidros" spricht, mit dem die Seele sich gleichsam an etwas zurückerinnert, was sie unbewusst doch immer schon besessen hatte. Kepler sagt: "geometria est archetypus pulchritudinis mundi", "Die Mathematik", so dürfen wir wohl verallgemeinernd übersetzen, "ist das Urbild der Schönheit der Welt". In der Atomphysik hat sich dieser Vorgang vor nicht ganz 50 Jahren abgespielt und hat die exakte Naturwissenschaft wieder in den Zustand harmonischer Geschlossenheit unter ganz neuen Voraussetzungen zurückgebracht, der für ein Vierteljahrhundert verloren gegangen war. [...]

Verehrte Anwesende, ich habe Ihnen diese Seite der exakten Naturwissenschaft geschildert, weil an ihr die Verwandtschaft zu den Schönen Künsten am deutlichsten sichtbar wird und weil hier dem Missverständnis vorgebeugt werden kann, es handle sich in Naturwissenschaft und Technik nur um die genaue Beobachtung und um das rationale, diskursive Denken. Zwar gehören dieses rationale Denken und das sorgfältige Messen zur Arbeit des Naturforschers so wie Hammer und Meißel zur Arbeit des Bildhauers. Aber sie sind in beiden Fällen nur Werkzeug, nicht Inhalt der Arbeit.«

Literatur

Werner Heisenberg, Der Teil und das Ganze, München 1969; Die Bedeutung des Schönen in der exakten Naturwissenschaft, in: Schritte über Grenzen, München 1971.