

Werner Heisenberg

Die Abstraktion  
in den modernen  
Naturwissenschaften

mit Anmerkungen

von

Kwai Umeda

und

Ryoichi Manabe

Sansyusya Verlag

## VORWORT

Den Herren Professoren Umeda und Manabe bin ich sehr dankbar dafür, daß sie den vorliegenden Vortrag über die Abstraktion in den modernen Naturwissenschaften einem größeren Kreis japanischer Freunde und Leser zugänglich machen wollen. Herr Umeda hat ja selbst vor vielen Jahren im Kreis meines Leipziger Seminars mitgearbeitet und kennt daher genau den Geist dieser ständigen Auseinandersetzungen zwischen Naturwissenschaft und Philosophie, der unsere damalige Arbeit belebt und befruchtet hat.

Die Aufmerksamkeit vieler junger Zuhörer und verschiedene Diskussionen, die sich bei meinem Besuch in Japan im Anschluß an einige meiner Vorträge ergeben haben, sind mir ein Beweis dafür, daß auch bei der japanischen studentischen Jugend ein lebendiges, fast möchte ich sagen besorgtes, Interesse für die Frage besteht, wohin die Reise der modernen Naturwissenschaft geht, der man sich so bedenkenlos anvertraut hat. Ihre zunehmende Abstraktheit, die Inanspruchnahme extremster technischer Mittel und die Rückwirkung neuer Erkenntnisse auf die technischen Möglichkeiten scheinen Gefahren anzudeuten, die man nicht übersehen darf. In dem vorliegenden Vortrag kam es mir vor allem darauf an, die Zwangsläufigkeit dieser Entwicklung zu schildern und die Grenzen abzu-

stecken, innerhalb derer die Abstraktion noch fruchtbar werden kann. Es ist offenbar der Wunsch, weiteste Bereiche einheitlich zu verstehen, der zu immer höherer Abstraktion zwingt. Nur wenn der weite einheitliche Zusammenhang wirklich sichtbar wird, mag der hohe Preis der Abstraktion gerechtfertigt scheinen. Der mit einer solchen Formulierung angedeutete Wertmaßstab für die Entwicklung der Naturwissenschaft könnte, so hoffe ich, gerade in Ostasien gut verstanden werden, da hier die philosophische Tradition den einheitlichen Zusammenhang stets für wichtiger genommen hat, als die Analyse der Einzelheiten.

Professor Dr. Werner Heisenberg

## は し が き

近代自然科学の抽象化に関するこの講演を、日本の友人、読者のもっと広い範囲に紹介しようという、梅田・真鍋両教授に厚く感謝します。梅田教授はもう何年も前に、ライプツィヒ大学の私のゼミナールで、親しく一緒に研究にたずさわったことがありますので、当時のわれわれの研究を活気づけ、かつみのり多いものとした、自然科学と哲学との交流に関する絶えざる論議の精神をよく知っております。

私が日本を訪れた際、私のおこなったいくつかの講演に対する多数の若い聴講者諸君の傾聴ぶりや、講演につづいておこなわれた、いろいろな討論などから、日本の若い学生の間にも、私たちが安心して身をまかせてきた近代科学の行く手に関する問題に対して、活発な、またその将来を気にかけているといたいぐらいな関心があることがよく見てとれました。

自然科学のますます増大する抽象化、極端な技術的手段に対する要求、技術的可能性におよぼす新しい知識の影響は、見逃がすべからざる危険を示唆するかに見えます。この講演において私が特に重きをおいたのは、この発展はやむにやまれぬものであることと、抽象化が今後なお成果を収め得べき限界を示すことにありました。もちろん、できるだけ広い領域を統一的に理解しようというのが、願うところで、その願望が抽象化をますます高度化せざるを得ざらしめているのです。もし広範囲にわたる統一的連関が実際に目に見えるようにならないのでは、抽象化のために払う高い代償は正当化されないと思えるかもしれせん。そうした定式化がその目安となっている自然科学の発展の価値の高低は、東洋においてこそ、と私は希望しますが、よく理解されることと思います。というのは東洋ではその哲学的伝統が、統一的連関を常に個々のものの分析より重要視してきたからです。

ヴェルナー ハイゼンベルク

## 著者について

著者の略歴は Aus meinem Leben にみることができるが、その中には教授自身の学問的業績について、極言すればその業績なくしては理論物理学の今日の輝かしい発展はなかっただろうとさえ思われるほどなのに、ほとんど述べられていない。—— 1925年 Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen なる独創的な論文で新しい量子力学の扉を開いたのち、S. 36, Z. 12の die begriffliche Analyse der Quantenmechanik は Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Dynamik なる画期的な論文を生み、観測の概念を明かにし、いわゆる不確定性原理を確立して、われわれの自然認識を根本的に考え直させた。この業績により 1933年に 1932年度ノーベル物理学賞が授けられたのであるが、このことも記されていない。21才(1923年)で Dr. Phil. になり、25才(1927年)で Leipzig大学の理論物理学の正教授になったのも驚異である。1929年に講義・講演のため来日された。1941年 Berlin大学に招かれ、同時に Berlin-Dahlemの Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikの所長となった。終戦とともに英国に抑留され、1946年故国に帰ると直ちに若き日に学んだ Göttingenに Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikを再開してその所長をつとめたが、それは後に Max-Planck-Institut für Physikと改称、1958年には S. 38, Z. 3にあるように Münchenに立派な建物ができて Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik in Münchenに発展、現在はその所長としてドイツの物理学研究推進の中核となっている。

著者の研究は S. 36, Z. 20-5にもあるように原子物理学の基礎から具体的現象までの各分野にわたっていて、著者の名を見ない分野はほとんどないといってよい。65才の今日なお壮者をしのぐファイトで世界の第一線に立ち非線型場による素粒子統一理論を提唱して理論物理学の最先端を歩んでいる。また学位論文がそうであった関係で流体力学においても大きな足跡を残していることを忘れてはならない。その天才とエネルギーにはただただ敬服するばかりである。(1967年)

### 【付記】

その後 Heisenberg 先生は、活躍をつづけられたが、1976年2月1日 Münchenで75才でなくなられた。

## Die Abstraktion in den modernen Naturwissenschaften

Wenn die Naturwissenschaft\* unserer Zeit mit der\* früherer Epochen verglichen wird, so wird oft festgestellt\*, daß diese Wissenschaft im Laufe ihrer Entwicklung immer abstrakter geworden sei. Sie hat in unserer Zeit an vielen Stellen einen geradezu\* 5 befremdenden\* Charakter von Abstraktheit erreicht, der nur gewissermaßen ausgeglichen\* wird durch die großen praktischen Erfolge, die die Naturwissenschaft mit ihrer Anwendung in der Technik aufzuweisen hat. 10

Ich möchte hier nicht auf die Wertfrage eingehen, die an dieser Stelle oft aufgeworfen\* wird. Es soll\* also nicht gefragt werden, ob die Naturwissenschaft früherer Zeit erfreulicher war, die aus dem liebevollen Eingehen auf die Einzelheiten der Natur- 15 erscheinungen Zusammenhänge der Natur lebendig und damit sichtbar gemacht hat—oder ob im Gegenteil die enorme Ausweitung der technischen Möglichkeiten, die auf der modernen Forschung beruhen, die Überlegenheit eben\* unseres Begriffs 20 von Naturwissenschaft unwiderlegbar bewiesen habe.

Diese Wertfrage soll also zunächst völlig beiseite

gelassen werden. Statt dessen soll der Versuch gemacht werden, den Vorgang der Abstraktion in der Entwicklung der Wissenschaft selbst unter die Lupe zu nehmen\*. Es soll — soweit dies\* im Rahmen einer kurzen historischen Betrachtung möglich ist — nachgesehen werden, was dabei eigentlich geschieht, wenn die Wissenschaft, offenbar einem inneren Zwang gehorchend\*, von einer Stufe der Abstraktion zur nächst höheren aufsteigt; um welcher Erkenntniswerte willen dieser mühevollen Weg des Aufstiegs überhaupt beschritten wird.

Dabei wird sich herausstellen, daß in den verschiedenen Disziplinen\* des naturwissenschaftlichen Bereichs jedenfalls sehr ähnliche Vorgänge\* ablaufen, die gerade durch ihren\* Vergleich verständlicher werden. Wenn der Biologe Stoffwechsel und Fortpflanzung\* der lebendigen Organismen auf chemische Reaktionen zurückführt\*, wenn der Chemiker die anschauliche Beschreibung der Qualitäten seiner Stoffe durch eine mehr oder weniger komplizierte Konstitutionsformel\* ersetzt, wenn der Physiker die Naturgesetze schließlich in mathematischen Gleichungen ausdrückt\* — immer vollzieht sich hier eine Entwicklung, deren Grundtypus vielleicht\* am deutlichsten in der Entwicklung der Mathematik selbst zu erkennen ist und nach deren Zwangsläufigkeit\* gefragt

werden muß.

Man kann\* mit der Frage beginnen: Was ist Abstraktion und welche Rolle spielt sie im begrifflichen\* Denken? Als Antwort kann man etwa\* formulieren\*: Abstraktion\* bezeichnet die Möglichkeit, einen Ge- 5  
genstand oder eine Gruppe von Gegenständen unter einem Gesichtspunkt unter Absehen von allen anderen Gegenstandseigenschaften zu betrachten. Das Herausheben eines Merkmals, das in diesem Zusammen- 10  
hang als besonders wichtig betrachtet wird, gegenüber allen anderen Eigenschaften macht das Wesen der Abstraktion aus\*. Alle Begriffsbildung beruht—  
wie man leicht einsieht—auf diesem Prozeß der Abstraktion. Denn Begriffsbildung setzt voraus, daß  
man Gleichartiges erkennen kann. Da völlige Gleich- 15  
heit\* aber in den Erscheinungen praktisch nie vorkommt, entsteht die Gleichartigkeit nur durch den Vorgang der Abstraktion, durch das Herausheben  
eines Merkmals unter Weglassung aller anderen. Um  
etwa den Begriff „Baum“ bilden zu können, muß man 20  
einsehen, daß es bei Birke und Tanne gewisse gemeinsame Züge\* gibt, die man abstrahierend herausheben und damit ergreifen kann.

Das Aufspüren\* gemeinsamer Züge kann unter Umständen ein Erkenntnisakt\* von größter Bedeutung 25

sein. Z.B. muß schon sehr früh in der Geschichte der Menschheit erkannt worden sein, daß es beim Vergleich etwa von drei Kühen und drei Äpfeln einen gemeinsamen Zug gibt, der eben mit dem Wort „drei“  
5 ausgedrückt wird. Die Bildung des Zahlbegriffs ist bereits ein entscheidender Schritt\* aus dem Bereich der uns unmittelbar sinnlich\* gegebenen Welt heraus und in ein Gewebe\* rational erfaßbarer gedanklicher Strukturen\* hinein. Der Satz\*, daß zwei Nüsse und  
10 zwei Nüsse zusammen vier Nüsse ergeben, bleibt auch richtig, wenn man das Wort Nüsse durch Brote oder die Bezeichnung irgendwelcher anderer Gegenstände ersetzt. Man konnte ihn also verallgemeinern und in die abstrakte Form kleiden\*: Zwei und zwei  
15 ist vier. Das war eine bedeutende Entdeckung.

Wahrscheinlich ist auch schon sehr früh die eigentümlich ordnende Kraft dieses Zahlbegriffs erkannt worden und hat mit dazu beigetragen, daß einzelne Zahlen als Symbole empfunden oder gedeutet werden.  
20 Vom Standpunkt der heutigen Mathematik aus ist allerdings\* die einzelne Zahl weniger wichtig als die Grundoperation des Zählens\*. Es ist diese Operation, die\* die nicht abbrechende Reihe der natürlichen Zahlen\* entstehen läßt und mit ihr schon implizite  
25 alle die Sachverhalte hervorbringt, die etwa in der Zahlentheorie\* studiert werden. Mit dem Zählen ist

offenbar ein entscheidender Schritt in die Abstraktion getan, mit ihm kann der Weg in die Mathematik und in die mathematische Naturwissenschaft betreten werden.

An dieser Stelle kann nun schon\* ein Phänomen\* 5 studiert werden, das uns später auf den verschiedenen Stufen der Abstraktion in der Mathematik oder der neuzeitlichen Naturwissenschaft\* immer wieder begegnen wird und das für die Entwicklung des abstrakten Denkens in der Naturwissenschaft beinahe 10 als eine Art Urphänomen\* bezeichnet werden könnte, obwohl Goethe\* seinen Ausdruck\* Urphänomen an dieser Stelle sicher nicht gebraucht hätte\*. Man kann es etwa die Entfaltung abstrakter Strukturen\* nennen.

Die Begriffe\*, die zunächst durch Abstraktion aus 15 einzelnen Sachverhalten oder Erfahrungskomplexen\* gebildet werden, gewinnen ein eigenes Leben\*. Sie erweisen sich als viel reichhaltiger und fruchtbarer, als man ihnen zunächst ansehen\* kann. Sie zeigen in der späteren Entwicklung eine selbständige ordnende 20 Kraft, indem sie zur Bildung neuer Formen und Begriffe Anlaß geben, Erkenntnisse über deren Zusammenhang vermitteln und sich auch bei dem Versuch, die Welt der Erscheinungen zu verstehen, in irgendeinem Sinne bewähren\*.

Aus dem Begriff des Zählens und den mit ihm

verknüpften einfachen Rechenoperationen z.B. ist später, teils in der Antike\*, teils in der Neuzeit, eine komplizierte Arithmetik und Zahlentheorie entwickelt worden, die eigentlich nur das aufdeckt\*, was mit dem Zahlbegriff von Anfang an gesetzt worden war\*. 5 Ferner gab\* die Zahl und die aus ihr entwickelte Lehre von den Zahlenverhältnissen\* die Möglichkeit, Strecken\* messend zu vergleichen\*. Von hier aus konnte eine wissenschaftliche Geometrie\* entwickelt 10 werden, die begrifflich bereits über die Zahlenlehre\* hinausgeht\*.

Bei dem Versuch, in dieser Weise die Geometrie auf die Zahlenlehre zu begründen, sind schon die Pythagoreer\* auf die Schwierigkeit mit den irrationalen Streckenverhältnissen gestoßen und so zur Erweiterung ihres Zahlkörpers\* gedrängt worden. Sie mußten gewissermaßen den Begriff der Irrationalzahl\* erfinden. Von hier weiterschreitend, gelangten die Griechen zum Begriff des Kontinuums\* und zu den 20 bekannten, später vom Philosophen Zeno\* studierten Paradoxien\*. Auf die Schwierigkeiten in dieser Entwicklung der Mathematik soll aber hier nicht eingegangen, es sollte\* nur auf den Reichtum an\* Formen hingewiesen werden, der im Zahlbegriff implizite 25 steckt und aus ihm entfaltet werden konnte. Dies kann\* also beim Vorgang der Abstraktion geschehen.

## Anmerkungen

[注意] Text 中の語句は、注では名詞なら 1 格の形、動詞は不定句にして出してあるものが多い。

人名は有名なものが多いので、発音を示す程度にとどめたものが多い。人名や、また専門語は英語読みですます傾向があるので、発音の方に重点をおいた。

同じ語は、原則としてくりかえしては説明しないようにした。

### S. Z.

- 1 1 **WENN DIE NATURWISSENSCHAFT...**: まずこの講演の目標、範囲をのべ、自然科学各分野で抽象化が進みつつあることに注目する。  
**der**: die Naturwissenschaft の繰り返しをさけて、代わりに用いられた指示代名詞。
- 2-3 **feststellen**: = wahrnehmen, 「(...して見ると,) ...と いうことがわかる, 見てとれる」
- 5 **geradezu**: = fast, beinahe, アクセントは -ra- におく。「...とっていいくらい」(man könnte fast sagen) の意。
- 6 **befremdend**: = verwunderlich, 多少気持の上で「抵抗」を感じる時に用いる語。「なじみにくい」
- 7 **ausgleichen**: 「補整する」, ここの意味からいえば *rechterfertigen*。
- 12 **aufwerfen**: eine Frage aufwerfen で「質問を提出する」という熟語。
- 13 **Es soll...**: 「...かどうかの問題には) ふれたくない」, 「...の問題には) 立ち入らないでおきたい」。——ここだけではなく, Z. 22, S. 2, Z. 1, Z. 4 の *sollen* もみな裏に筆者の意志 *ich will* がある。あとにつづく受動の形を能動にして, Z. 22 「一応 *beiseite lassen* したい」, S. 2, Z. 1 「*unter die Lupe nehmen* してみたいと思う」, S. 2, Z. 4 「*nachsehen* するつもりである」ということ。以下これに類する *soll* が多出する。

- 20 **eben**: = gerade, 以下多出する。
- 2 3-4 **unter die Lupe nehmen**: = genau betrachten und streng prüfen.
- 4 **dies**: 後にくる nachsehen を指す。
- 7-8 **offenbar einem inneren Zwang gehorchend**: 「もちろんやむにやまれぬ気持から」
- 13 **Disziplin f.**: = wissenschaftliches Fachgebiet.
- 14 **Vorgänge**: = Vorgänge der Abstraktion (S. 2, Z. 2).
- 15 **ihren**: Disziplinen をうける。
- 16-7 **Fortpflanzung f.**: 「生殖」
- 17-8 **auf et.<sup>4</sup> zurückführen**: 「...に帰着する」, やさしく言えば「...によって説明する」
- 20-1 **Konstitutionsformel f.**: 「構造式」
- 22-3 **in et.<sup>3</sup> ausdrücken**: 「...で(...の形で)あらわす」
- 24 **vielleicht**: = möglicherweise. vielleicht は「可能性」だけを表わし, 「期待」や「推量」は表わさない。だから「多分」「おそらく」と訳すのは不適當である。
- 26 **Zwangsläufigkeit f.**: 「必然性」, 「そうならざるを得ないこと」
- 3 2 **MAN KANN...**: ここから「抽象化とは何か」「概念形成はいかにして行なわれるか」の問題にうつる。
- 3 **begrifflich**: = abstrakt; begrifflicher Gedanke = (英) *abstract reasoning*.
- 4 **etwa**: = ungefähr, wohl gar, beispielsweise. ここは ungefähr 「大体において」, 以下これらの意味で多出する。
- formulieren**: = in Worte fassen.
- 5-8 **Abstraktion...zu betrachten**: この講演の主眼である Abstraktion の定義で, 特に注意すること。
- 11-2 **ausmachen**: 「...になる, 形成する」
- 15-6 **Gleichheit f.**: 「完全な一致, 差別がないこと」(völlige Übereinstimmung), これに対し Gleichartigkeit は「同じ種類に所属していること」(Zugehörigkeit zur gleichen Art)
- 22 **Züge pl**: < Zug *m.* = Merkmal *n.* 「特徴」

- 24 **DAS AUFSPÜREN...**: ここから「数学の発展の歴史」を説く。  
Aufspüren *n.*: 「(手がかりを追って)見つけ出すこと」
- 25 **Erkenntnisakt** *m.*: 「何であるかを見分ける道程」, 「認識行為」
- 4 6 **ein entscheidender Schritt aus A<sup>3</sup> heraus in B<sup>4</sup> hinein**:  
「A から踏み出て B へ踏みこむ決定的な一歩」
- 7 **sinnlich**: = mit dem Sinn wahrnehmbar.
- 8 **Gewebe** *n.*: = Komplex 「組織」
- 8-9 **gedankliche Struktur**: 「概念的構造」
- 9 **Satz** *m.*: 数学では「定理」, 物理学などでは「法則」
- 14 **A<sup>4</sup> in B<sup>4</sup> kleiden**: 「A を B で表わす」
- 21 **allerdings**: 認容的用法: = jedoch, 「もっとも」, 「ただし」  
以下多出。
- 22 **Grundoperation des Zählens**: des Zählens は同格的 2 格,  
「数えてゆくという基本的操作」
- 23-4 **Es ist die Operation, die**: Es ist die Operation. または Die Operation ist es. の文が関係文を伴うときは、関係代名詞は主語 (Operation) の性数でうける。es は述語である。  
例: Es ist der Vater, der es getan hat. 「それをやったのは父である」
- 23-4 **die natürliche Zahl**: 「自然数」, 「正の整数」。この 2 格は同格的用法。
- 26 **Zahlentheorie** *f.*: 「整数論」
- 5 5 **schon**: はじめの an dieser Stelle に呼応して「ここでもう... することが出来る段階に来た」といった文調。  
**ein Phänomen**: [fəno'me:n] 不定冠詞に注意。「das にみちびかれる関係文の内容を示すような現象」, 「どんな」に対して「のような」と応じるのが不定冠詞。Z. 15 の定冠詞と比較。
- 7-8 **in der Mathematik oder der neuzeitlichen Naturwissenschaft**: Abstraktion にかかる。
- 11 **Urphänomen** *f.*: 「根源的現象」
- 12 **Goethe**: 「ゲーテなら(用いなかっただろうが)」

- seinen Ausdruck Urphänomen:** 「彼のいわゆる Urphänomen という言葉」
- 12-3 **Goethe... hätte:** ひと口に言うとき「ここでいう Urphänomen はゲーテの意味するものとはちがいますが」の意。
- 14 **die Entfaltung abstrakter Strukturen:** 「抽象的構造の展開」この言葉はこの講演に多出し主要な役割をしている。
- 15 **die Begriffe, die...:** 定冠詞に注意。「...するところのその概念」。「どの」に対して「それ」と指定するのが定冠詞。Z. 5 の不定冠詞と比較せよ。
- 16 **Erfahrungskomplex m.:** = Gesamtheit, Inbegriff der Erfahrungen.
- 17 **Leben n.:** Wirksamkeit, Gültigkeitsgrenze.
- 19 **et.<sup>3</sup> ansehen:** 「...から見てとる」
- 25 **sich bewähren:** = sich als zuverlässig (wahr) erweisen.
- 6 2 **Antike f.:** = altgriechische Zeit.
- 4 **aufdecken:** = bloßlegen; ins Bewußtsein bringen; offenkundig machen.
- 5 **gesetzt worden war:** 前の mit に呼応して「...に伴っていた」, 「...と共存していた」, 過去完了に注意。
- 6 **gab:** 単数になっているが, 数え上げてゆく (aufzählen) 場合は最初の名詞に応じた形をとる。例: Es war einmal ein König und eine Königin.
- 7 **Zahlenverhältnis n.:** 「数の比」
- 8 **Strecke f.:** 「線分」  
**messend vergleichen:** = durch die Messung vergleichen.
- 9 **Geometrie f.:** [geome'tri:] 「幾何学」
- 10 **Zahlenlehre f.:** = Arithmetik.
- 10-1 **über et. hinausgehen:** = et. überschreiten.
- 14 **Pythagoreer m.:** [pytaɔ'o're:ɔr] = Anhänger der Lehre des Pythagoras. [py'ta:ɔgoras] (ギリシアの哲学者, 数学者)
- 16 **Zahlkörper m.:** 「数体」(数学の概念の)
- 17 **Irrationalzahl f.:** 「無理数」
- 19 **Kontinuum m.:** [kɔn'ti:nuum] 「連続体」(数学の概念の)