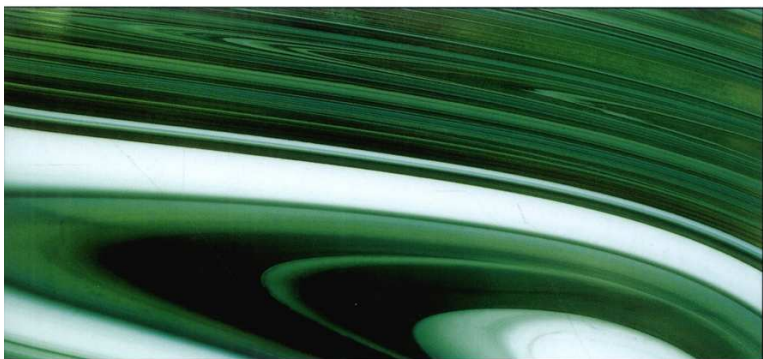


C. F. VON WEIZSÄCKER



Der begriffliche Aufbau der theoretischen Physik

HIRZEL

Carl Friedrich von Weizsäcker

Der begriffliche Aufbau der theoretischen Physik

Carl Friedrich von Weizsäcker

Der begriffliche Aufbau der theoretischen Physik

Vorlesung
gehalten in Göttingen im Sommer 1948

Herausgegeben von Holger Lyre



S. Hirzel Verlag Stuttgart · Leipzig

Ein Markenzeichen kann warenzeichenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt.

1. Auflage 2004

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-7776-1256-1

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe (durch Photokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren) und der Übersetzung vorbehalten.

© 2004 S. Hirzel Verlag, Birkenwaldstraße 44,
70191 Stuttgart

Printed in Germany

Satz: media office gmbh, Kornwestheim

Druck: Kösel GmbH+Co., Kempten

Einbandgestaltung: Neil McBeath, Stuttgart

VORWORT

von Holger Lyre

Bei der vorliegenden Schrift *Der begriffliche Aufbau der theoretischen Physik* handelt es sich um den Nachdruck des Skripts einer Vorlesung, die Carl Friedrich von Weizsäcker im Sommersemester 1948 an der Universität Göttingen gehalten hat. Weizsäcker war erst im Frühjahr 1946 aus der sechsmonatigen Internierung durch die Alliierten auf dem englischen Landsitz Farm Hall – die zehn führende deutsche Atomphysiker betraf – zurückgekehrt. Gemeinsam mit Heisenberg und Hahn ging er nach Göttingen. Dort beabsichtigte man insbesondere, die vormalige wissenschaftliche Dachorganisation, die Berliner Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, unter neuen Vorzeichen und an neuem Standort ins Leben zu rufen, was 1948 mit der Gründung der Max-Planck-Gesellschaft dann auch geschah.

Im Sommersemester 1946 nahm Weizsäcker – neben der Abteilungsleitung am neu zu gründenden Max-Planck-Institut für Physik – eine Honorarprofessur an der Universität Göttingen auf und hielt sogleich eine vielbeachtete große Publikumsvorlesung mit dem Titel *Die Geschichte der Natur*, die dann später mit großem Erfolg und in mehreren Auflagen und Sprachen publiziert wurde. Demgegenüber war die zwei Jahre später abgehaltene, hier nun im Druck vorliegende Vorlesung zum *begrifflichen Aufbau der theoretischen Physik* schon eher eine Spezialveranstaltung (und infolgedessen existieren nicht viele Kopien des Vorlesungsskripts, was allein schon die jetzige Publikation sinnvoll erscheinen lässt). Dennoch ist *Der begriffliche Aufbau der theoretischen Physik* alles andere als eine typische Physikvorlesung. Es handelt sich stattdessen um eine Art Aufbereitung der Physik im Rahmen einer Gesamtschau, an die sich eine philosophische Analyse unmittelbar anschließen kann und

soll. Eben dies versteht Weizsäcker unter einer Darstellung des *begrifflichen* Aufbaus der Physik – und eben dies macht die Lektüre so bemerkenswert.

Wie Weizsäcker in der kurzen Vorbemerkung schreibt, drückt der Text „... vielfach nur die Grundlinien des Gedankengangs aus“ und ist „... in vielen Punkten nicht mehr als eine Andeutung“. Aus praktischen Gründen ließ er dennoch eine Vervielfältigung für die Hörer seiner Vorlesung zu, an eine Publikation dachte Weizsäcker aber aufgrund der Vorläufigkeit des Textes nicht. Heute, mit mehr als 50 Jahren Abstand, erweist sich der Text natürlich auch sachlich als an vielen Stellen überholt, doch gibt es dennoch einige gute Gründe, die die jetzt vorliegende, späte Publikation durch den S. Hirzel Verlag sinnvoll und dankenswert machen.

Ein erster Grund betrifft ein Weizsäckersches Charakteristikum: Die Grundlinien und zentralen Motive seines Denkens finden sich schon in seinen frühesten Schriften und ziehen sich wie ein roter Faden durch sein Lebenswerk. Hierzu zählen insbesondere Weizsäckers Erkenntnismethode, der später von ihm so bezeichnete *Kreisgang*, sowie die hervorgehobene Rolle, die die *Struktur der Zeit* – als manifester Unterschied von faktischer Vergangenheit und möglicher Zukunft – für sein Verständnis des Aufbaus empirischer Wissenschaft spielt. Beide Motive spielen auch im vorliegenden Text eine prominente Rolle, und es ist anhand der frühen Weizsäckerschen Schriften besonders interessant nachzuverfolgen, wie er seine philosophischen Denkmotive herausbildet und formt.

Im *begrifflichen Aufbau* geschieht dies in einer sehr ursprünglichen Weise, die sein späteres Werk so nicht mehr zeigt. Die Methode des Kreisgangs – wenn auch noch nicht unter diesem Schlagwort verwendet – bringt Weizsäcker dazu, seine Vorlesung in einer ungewöhnlichen äußeren Struktur zu komponie-

ren. Im ersten Abschnitt des Methoden-Kapitels weist er nämlich darauf hin, dass es zwei Wege des Aufbaus gibt, einen phänomenologischen, vom alltäglich elementar Gegebenen herführenden, und einen gegenständlichen, von den schließlichen elementaren Gegenständen der Physik ausgehenden. Elementare Gegebenheiten und elementare Gegenstände bilden die zwei, wie Weizsäcker es nennt, „Spitzen“ oder Fundamente im Aufbau, von denen er annimmt, dass man auf keine verzichten kann. Stattdessen stehen beide in einem gegenseitigen, sich sogar korrigierenden Abhängigkeitsverhältnis, das uns im Erkenntnisprozess zum Durchlaufen eines „Zirkels“ – bestehend aus den beiden Halbkreisen phänomenaler und gegenständlicher Begrifflichkeit – zwingt. Genau dies ist die Figur des späteren Weizsäckerschen Kreisgangs – sie geht zugleich auf die Gestaltkreis-Idee seines Onkels Viktor von Weizsäcker und den Komplementaritäts-Gedanken von Niels Bohr zurück.

Der im ersten der drei Teile der Vorlesung vorgeführte phänomenologische Zugang zur Physik ist in dieser ausführlichen Form in keiner der späteren Schriften Weizsäckers mehr zu finden. Schon allein diese Besonderheit und die Tatsache, dass der *begriffliche Aufbau* – im Gegensatz zu fast allen seinen sonstigen Buchpublikationen – an einem Stück geschrieben ist, macht die jetzige Publikation wohl nicht nur für Weizsäcker-Kenner zu einem kleinen Juwel. Die Bedeutung der Phänomenologie zeigt sich für Weizsäcker auch in den Deutungsfragen der Quantenmechanik im letzten Teil des Buches. Hier bettet er die Grundannahme der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik, dass die Ergebnisse einer Messung in klassischer Begrifflichkeit formulierbar sein müssen und dass dies zu den Bedingungen der Möglichkeit von Messungen zählt, in den nochmals größeren und allgemeineren erkenntnistheoretischen Kontext seiner Kreisgang-Methode ein.

Der Hinweis auf „Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis“ ist zugleich der Hinweis für den Leser, dass das kantische Gedankengut an beinahe jeder Stelle des Textes durchschimmert. Ein weiterer bemerkenswerter Punkt ist die vergleichsweise ausführliche Beschäftigung mit Grundlagenfragen der Mathematik, die sich in dieser Form erst wieder in seinem Spätwerk *Zeit und Wissen* (1992) findet. Weizsäcker diskutiert insbesondere den Begriff des Kontinuums in kritischer Abwägung der Begriffe des potentiell und aktual Unendlichen. Hier sieht er – und das berührt sein zweites originelles Denkmotiv – einen Zusammenhang zur Struktur der Zeit in Form potentieller Zukunft und aktueller Vergangenheit. Die Struktur der Zeit spielt natürlich auch in Weizäckers Überlegungen zur Irreversibilität in der Thermodynamik die entscheidende Rolle. Hier hatte Weizsäcker bereits in einer sehr frühen Arbeit zum zweiten Hauptsatz von 1939 darauf hingewiesen, dass der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft konstitutiv für das Verständnis des Wahrscheinlichkeitsbegriffs selbst ist und dass nicht das *H*-Theorem, sondern erst dieser Unterschied zur Auszeichnung einer Zeitrichtung hinreicht. In Kapitel II.A.3 sind Auszüge aus der Arbeit von 1939 zum Teil wörtlich eingearbeitet.

Diejenigen Passagen des jetzigen Buches, die der Darstellung konkreten physikalischen Fachwissens vor allem in der Kosmologie und der Kern- und Elementarteilchentheorie dienen, sind klarerweise für den modernen Leser veraltet. Dennoch ist Weizsäcker auch hier – mindestens historisch – lesenswert, denn er hat ja selbst durch seine physikalische Forschung nicht unwesentlich zur frühen Kernphysik der Sterne und zu kosmologischen Überlegungen beigetragen. Zu der Zeit, in der er die Vorlesung hält, beschäftigte er sich intensiv mit Fragen der Turbulenz und Entstehung des Planetensystems – die philosophischen Einzelaufsätze der 40er- und frühen 50er-Jahre publizierte er in der

nach und nach anwachsenden Aufsatzsammlung *Zum Weltbild der Physik* (1. Aufl. 1943, 14. Aufl. Hirzel 2002).

Ich schließe mit einer Bemerkung zum Titel des Buches. Seine Wahl erinnert an das spätere physik-philosophische Hauptwerk Weizsäckers *Aufbau der Physik* von 1985. Wie Weizsäcker im dortigen Vorwort schreibt, wäre der Titel „Einheit der Physik“ sachlich noch deutlicher gewesen, wurde aber vermieden, um Verwechslungen mit der *Einheit der Natur* (1971) auszuschließen. Dennoch geben Begriffe wie „Aufbau“ oder auch „Rekonstruktion“ sehr genau wieder, was Weizsäcker Zeit seines Lebens verfolgt hat: nämlich keine lehrbuchartige Darstellung des Fachwissens, sondern eine nachträgliche Begründung der Geltung und Ableitung des Gefüges der Struktur der Physik im Ganzen. *Der begriffliche Aufbau der theoretischen Physik* ist eine bemerkenswerte frühe Umsetzung dieser Intention und ein äußerst lehrreicher Spiegel des damaligen naturwissenschaftlichen Wissensstandes – gepaart mit der einmaligen Weizsäckerischen Gabe, auf dieses Wissen in einem größtmöglichen philosophischen Rahmen zu reflektieren.

INHALT

VORWORT von Holger Lyre	V
VORBEMERKUNG	1
EINLEITUNG	3
I. ELEMENTARE GEGEBENHEITEN	
A. METHODE	7
a. Der Aufbau der Physik	7
b. Erkenntnis	12
c. Zweifel	16
d. Glaube	23
e. Methodische Folgerungen	28
B. PHÄNOMENOLOGIE	35
1. Zeit	35
a. Zeitlichkeit und Zeit	35
b. Geschichtlichkeit	39
c. Möglichkeit	41
2. Ding	48
a. Räumlichkeit	49
b. Invarianz	50
c. Ding und Erscheinung	54
d. Gegenstand und Eigenschaft	58
3. Das Allgemeine	61
a. Eigenschaft	62
b. Gattung	64
c. Gesetz	67

d.	Allgemeinheit und Möglichkeit	69
e.	Grundsätzliche Charakteristik des Allgemeinen	71
4.	Erfahrung	75
a.	Methodische Vorbemerkung	75
b.	Wahrnehmung, Empfindung, Erfahrung	76
c.	Apriori	80
d.	Bewusstsein und Seele	83
5.	Sprache und Logik	88
a.	Sprache	88
b.	Schrift	90
c.	Kalkül	90
d.	Sinn der Logik	91
e.	Logische Forschung	95
C.	MATHEMATIK	97
1.	Zahl	97
a.	Menge	97
b.	Phänomenologische Begründung der Zahl	98
c.	Logisch-mengentheoretische Begründung des Zahlbegriffs	100
2.	Das Unendliche	101
3.	Struktur	105
a.	Beispiele	105
b.	Definition von Struktur	107
c.	Der Erkenntnisgehalt der Mathematik	108
4.	Kontinuum	112
a.	Phänomenologie des linearen Kontinuums	112
b.	Zahlenkontinuum	115
c.	Physikalische Kontinua	118
d.	Wahrscheinlichkeit	120
e.	Geometrie und Analysis	122

D. ALLGEMEINE MECHANIK	125
1. Bewegung	125
a. Kinematische Grundbegriffe	125
b. Relative und absolute Bewegung	128
2. Ursache	132
a. Aristotelische causae	132
b. Materielle Kausalvorstellung	134
c. Formale Kausalvorstellung	136
3. Kraft	138
a. Trägheit	138
b. Kraft und Masse	139
c. Parallelogramm der Kräfte	141
4. Energie	141
a. Impuls und kinetische Energie	141
b. Konservative Kräfte	141
c. Actio = Reactio	142

II. REGIONALE DISZIPLINEN

A. KLASSISCHE PHYSIK	143
1. Einteilungsprinzipien	143
a. Überblick	143
b. Einteilung nach elementaren Gegebenheiten	146
c. Einteilung nach elementaren Gegenständen	147
2. Spezielle Mechanik	150
a. Massenpunkt	150
b. Punktsysteme	152
c. Starrer Körper	156
d. Deformierbarer Körper	156
e. Flüssigkeit und Gas	157

3. Wärme und Statistik	159
a. Phänomenologische Thermodynamik	159
b. Statistik	163
4. Elektromagnetisches Feld	181
a. Strahlenoptik	181
b. Wellenoptik	185
c. Maxwellsche Gleichungen	187
B. NACHBARWISSENSCHAFTEN VOM ANORGANISCHEN	191
1. Chemie	191
a. Stoff	191
b. Elemente	192
c. Atom	193
2. Der raumzeitliche Rahmen unserer Existenz	196
C. VERHÄLTNIS ZUR BIOLOGIE	204
1. Physische Phänomenologie des Lebendigen	204
a. Gestalt	204
b. Zweckmäßigkeit	207
c. Kontinuität	209
2. Die Physik in der Biologie	210
a. Das vitalistische Gefühl	210
b. Die Unausweichlichkeit der Naturgesetze	210
c. Bohrs Lösungsversuch	211
d. Einschränkung auf Geschichte und Seele	211
3. Geschichtlichkeit des Lebens	212
a. Gestaltwandel und Geschichtlichkeit der Zeit	212
b. Darwins Modell	213
c. Zweckmäßigkeit für Weiterentwicklung	214
4. Psychophysik	215

III. ELEMENTARE GEGENSTÄNDE

A. RELATIVITÄTSTHEORIE	217
1. Spezielle Relativitätstheorie	217
a. Allgemeine Einleitung	217
b. Vorgeschichte der speziellen Relativitätstheorie	219
c. Einsteins Kritik der Gleichzeitigkeit	221
d. Transformationstheorie der Lorentz-Gruppe	226
2. Allgemeine Relativitätstheorie	229
a. Allgemeine Kovarianz der Naturgesetze	229
b. Äquivalenzprinzip	230
c. Riemannsche Geometrie	232
d. Die Annahmen der allgemeinen Relativitätstheorie	234
e. Empirische Prüfungen	238
B. ATOMPHYSIK	240
1. Historische Entwicklung	240
a. Kants Antinomien und ähnliche Probleme	240
b. Der Weg zu Rutherfords Atommodell	242
c. Plancks Quantenhypothese	244
d. Einsteins Lichtquantenhypothese	245
e. Bohrs Atommodell	246
f. de Broglies Materiewellen	248
2. Quantenmechanik	249
a. Komplementarität	249
b. Unbestimmtheitsrelation	251
c. Schrödinger-Gleichung	256
d. Transformationstheorie	258
e. Anschaulichkeit, Kausalität, Objektivierbarkeit	262

3. Atomkerne und Elementarteilchen	268
a. Kernphysik	268
b. Kernreaktionen im Kosmos	272
c. Höhenstrahlung	273
d. Elementarteilchen	274
e. Die ungelösten Fragen der Atomphysik	277
C. ZUR PHILOSOPHISCHEN DEUTUNG	280
a. Frühe Stufen	280
b. Griechische Metaphysik	282
c. Christentum	282
d. Descartes	282
e. Neuzeitliche Gegensätze	283
f. Gegenwart	284

VORBEMERKUNG*

Die vorliegende Ausarbeitung der Vorlesung, die ich im Sommersemester 1948 gehalten habe, beruht teils auf meinem Manuskript, teils auf einer Nachschrift von Herrn R. Skottke. Der Text ist in der hier vorgelegten Fassung von Herrn Skottke redigiert und von mir durchgesehen. Er drückt vielfach nur die Grundlinien des Gedankengangs aus; auch die Vorlesung selbst war in vielen Punkten nicht mehr als eine Andeutung. Eine vollständige Ausarbeitung der in der Vorlesung vorgetragenen Thesen würde eine Arbeit von mehreren Jahren erfordern. Ich habe deshalb die hier vorgelegte Ausarbeitung im Bewusstsein ihrer Vorläufigkeit vervielfältigen lassen, um den Hörern der Vorlesung nachträglich einen Text in die Hand geben zu können und um für die weitere Ausarbeitung eine Diskussionsgrundlage zu besitzen.

* Vorbemerkung des Autors zum Original-Skript

EINLEITUNG

Diese Vorlesung stellt ein Experiment dar, in doppelter Hinsicht. Einmal Ihnen, den Hörern gegenüber. Mir ist nicht bekannt, dass eine Vorlesung dieses Charakters schon einmal gelesen worden wäre. Ob sie einem Bedürfnis entspricht, ob sie verständlich wird, das kann sich nur dadurch zeigen, dass man den Versuch mit ihr wirklich macht.

Sie ist aber auch ein Experiment, das ich mir selbst gegenüber mache, und ich muss Sie von vornherein um Entschuldigung bitten, dass ich Ihre Absicht, etwas zu lernen, zum Anlass eines derartigen Experiments nehme. Sie wird eine Reihe von Gedanken enthalten, die ich anderswo nicht gefunden habe, und ich gestehe, dass ich in diesem Kolleg unter anderem versuchen möchte, ob diese Gedanken bereits ein tragfähiges Ganzes bilden können. In manchen Punkten werde ich Ihnen also nicht gesicherte Resultate bieten, sondern Sie nur auffordern können, mit mir in eine bestimmte Bewegung des Denkens einzutreten.

Ich schildere nun zunächst das Ziel, das die Vorlesung verfolgt und gebe dann den Inhalt in Gestalt einer Disposition an.

Die Vorlesung hat ein dreifaches Ziel: ein physikalisch-pädagogisches, ein physikalisch-systematisches und ein philosophisches.

Physikalisch-pädagogisch: Im üblichen Vorlesungsbetrieb der theoretischen Physik gibt es nur Kollegs über einzelne Gebiete, aber keine Zusammenfassung der Theorie. Manche Gespräche machten mir den Wunsch nach einer solchen fühlbar. Nun ist die Theorie unermesslich. Bestimmte Verzichtleistungen sind also notwendig. Ich verzichte auf Beweise und Anwendungen, ja sogar auf viele wichtige Sätze. Es kommt mir vor allem darauf an, diejenigen Begriffe und Sachverhalte herauszupräpa-

rieren, welche die ganze Physik beherrschen, diejenigen Fragen, welche die gesamte Forschung in Spannung halten.

Dies bedingt, dass die Vorlesung die Kenntnis der Hauptgebiete der theoretischen Physik voraussetzt. Nun werden wenige von Ihnen Vorkenntnisse über alle Gegenstände haben, die ich behandle; das liegt in der Natur einer zusammenfassenden Vorlesung. Ich will daher versuchen, in jeder Einzelheit so deutlich zu sein, dass Vorkenntnisse das Verständnis erleichtern, aber nicht schlechthin notwendig sind. Deutlich heißt aber nicht leicht. Wer weniger Vorkenntnisse mitbringt, muss mehr Denkvermögen mitbringen. Wer aber über nichts von dem, was ich behandle, Vorkenntnisse hat, der soll wegbleiben.

Das zweite Ziel ist *physikalisch-systematisch*. Es sollen einige Fragen gestellt werden, die bisher meist nur Gesprächsthemen zwischen einzelnen Physikern bildeten. Ein Beispiel ist das Verhältnis der klassischen Physik zur Quantenmechanik. Dort wurden einige tiefgreifende Revisionen notwendig. Wir wollen uns ein Verständnis verschaffen, warum sie notwendig wurden.

Gerade die moderne Physik hat uns gelehrt, über die Grundlagen sehr viel sorgfältiger nachzudenken. Dabei ist der Zusammenhang und die gegenseitige Abhängigkeit mancher Wissenschaften deutlicher geworden. Es ist in der Tat meine Meinung, dass die Grenzen der Wissenschaften etwas Künstliches an sich haben. Ebenso wie die Physik hier als Ganzes dargestellt werden soll, wird auch über ihren Zusammenhang mit den anderen Wissenschaften geredet werden müssen.

Das leitet zum *philosophischen* Ziel über. Philosophie wird im Folgenden eine doppelte Rolle spielen. Einerseits ist sie Hilfswissenschaft. Nachdenken über die letzten Grundlagen der Physik, über Begriffe wie Ding, Raum, Zeit, Gesetz, ist Philosophie. Wollen wir die Physik systematisch aufbauen, so müssen wir über ihre Grundlagen nachdenken, wir müssen also, ob wir

wollen oder nicht, philosophieren. Der Fehler an den philosophierenden Physikern, die es heute so oft gibt, ist nicht, dass sie überhaupt philosophieren – wie sowohl Fachphilosophen wie Fachphysiker häufig meinen – sondern ihr Gegenstand hat sie dazu gezwungen. Ihr Fehler ist, dass sie oft dilettantisch philosophieren. Philosophie ist aber nicht leichter als Physik. Ich kann mich von dem Vorwurf des Dilettantismus nicht freisprechen, aber ich bemühe mich jedenfalls um philosophische Genauigkeit und werde auch Ihnen diese Bemühung nicht ersparen.

Andererseits hat die Vorlesung auch einen Zweck für das reine Philosophieren. Ich möchte versuchen, die Physik so darzustellen, wie ein Philosoph sie als Material gebrauchen wird. Ich will in dieser Vorlesung also zwar nicht eigentlich über Physik philosophieren, aber dafür die notwendigen Voraussetzungen schaffen. Für den Philosophen ist die Physik, so wie man sie gewöhnlich vorfindet, ungenießbar, sie ist rohes Fleisch. Ich will sie braten, aber nicht essen – nur davon kosten.

Nun zum Inhalt der Vorlesung: Ich habe ihn in drei Teile gegliedert. Der erste handelt von den „elementaren Gegebenheiten“. Darunter will ich alles das verstehen, was methodisch und begrifflich als allgemeine Voraussetzung der Wissenschaft, insbesondere der Physik, zu gelten hat. Der Weg, der zu den allgemeinen Begriffen wie Ding, Raum, Zeit, Allgemeines führt, nimmt seinen Ausgang von Phänomenen. Phänomenologie ist das Unternehmen, auf das Gegebensein der Phänomene zu reflektieren. Ein großer Teil meiner Betrachtungen wird in diesem Sinne phänomenologischer Natur sein. Die Schwierigkeiten der Phänomenologie sind andere als die der Physik. Während die Physik vor allem mit der Kompliziertheit ihrer Gegenstände ringt, bedeutet gerade die Einfachheit der Phänomene die größte Schwierigkeit für das auf sie reflektierende Bewusstsein, dessen

natürliche Richtung gar nicht die Reflexion auf das Gegebene ist. Als Folge eines solchen Bemühens gibt es drei mögliche Ergebnisse: Das erste lautet etwa: Alles ist einfach. Ich brauche wohl nicht besonders auseinanderzusetzen, dass dies sowohl die höchste wie die tiefste Stufe des Verständnisses sein kann. Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass man zugäbe, nichts zu verstehen. Diese Haltung ist wenigstens ehrlich. Sie kann zum Ausgangspunkt eines wirklichen Philosophierens werden. Hinsichtlich dessen hoffen wir jedoch alle, einmal sagen zu können: Ich verstehe einiges. Zur Erreichung dieses Zieles soll auch diese Vorlesung einen kleinen Beitrag liefern.

Der zweite Teil ist überschrieben mit „Regionale Disziplinen“. Damit sind die einzelnen Gebiete der klassischen Physik wie auch die Nachbarwissenschaften gemeint. Dieser Abschnitt darf als relativ am gesichertsten gelten.

Der dritte Teil handelt von den „elementaren Gegenständen“. Als solche habe ich die Gegenstände der Relativitätstheorie und Atomphysik bezeichnet. Den phänomenalen Gegebenheiten liegen ganz andersartige Gegenstände zu Grunde. Erst die Gegenstände ermöglichen das wirkliche Verstehen der Phänomene, aber sie erschließen sich nur einer hohen Stufe der Begrifflichkeit. Im Folgenden wird ausführlich dargelegt werden, wie beide Richtungen des Fragens zueinander stehen.

I. ELEMENTARE GEGEBENHEITEN

A. Methode

a. Der Aufbau der Physik

Die *Methode des begrifflichen Aufbaus*, die im Kommenden befolgt wird, soll zunächst dargelegt werden.

Unsere Wissenschaft ist stark beeinflusst durch die *deduktiven* Disziplinen der Mathematik. Hier werden wenige Sätze, die Axiome, vorausgesetzt, alle anderen sollen aus ihnen folgen. Die Axiome sah man früher als evident an, in jüngster Zeit behandelt man sie oft als Voraussetzungen, über deren Wahrheit nichts angenommen wird, das ganze System dann als ein Gebilde der logischen Struktur „wenn – so“.

Die Physik entsteht aber offenbar nicht so. Näher kommt ihrem Wesen der Begriff der *induktiven* Wissenschaft. Das unmittelbar Gegebene sind Einzelaussagen der Erfahrung, aus denen die wenigen, einfachen Grundsätze durch systematische Verallgemeinerung gewonnen werden. Der vollzogene induktive Aufbau könnte dann etwa am Ende in deduktive Form umgegossen werden.

Dieses Bild kommt der Wirklichkeit unserer Wissenschaft näher, aber es enthält entscheidende Züge noch nicht. Die Worte Deduktion und Induktion lassen beide für die Wissenschaft das Bild einer Pyramide entstehen, die entweder auf einer Spitze ruht oder in einer Spitze mündet. Erinnern Sie sich demgegenüber an unsere Disposition mit der Dreiteilung: Elementare Gegebenheiten, Regionale Disziplinen, Elementare Gegenstände. In diesem Bild hat die Wissenschaft *zwei* Spitzen. Die Physik lässt in der Tat einen doppelten Aufbau zu.

Man kann vom elementar Gegebenen ausgehen, von Begriffen wie Zahl, Zeit, Raum, Ding, Ursache, Bewegung. Dieser

Aufbau führt schließlich zum Atom wie zu einem äußersten Zweig eines verästelten Baumes. Man mag dies den *phänomenologischen* Aufbau der Physik nennen.

Man entdeckt aber, dass Begriffe wie Atom, Feld, Wellenfunktion eine neue sachliche Einheit geben, von der aus die phänomenologischen Begriffe sogar eine Kritik erfahren. Der wahre Zusammenhang der Phänomene enthüllt sich erst, wenn man hinter die Phänomene vordringt. Es deutet sich ein andersartiger *gegenständlicher* Aufbau der Physik an.

Welcher Aufbau ist der wahre? Wir können keinen von beiden entbehren. Der einzige Weg zu den Gegenständen führt über die Phänomene, das Verständnis der Phänomene erschließt sich erst durch die Gegenstände. Es besteht eine *gegenseitige Abhängigkeit* beider Aufbauweisen.

Dazu kommt, dass die beiden Spitzen nicht der gewisseste, sondern der ungewisseste Teil des Systems sind; sie sind wie Berggipfel, die in die Wolken stechen. Für die gegenständliche Spitze ist dies klar. Sie ist jenseits unmittelbarer sinnlicher Wahrnehmung. Sie ist nur ein gedachter oder erhoffter Punkt; in Wirklichkeit gibt es nach der gegenständlichen Seite nur eine *Front der Forschung*, ja man hat ausgesprochen, dass die gegenständliche Spitze unvollendbar sein könnte. Aber um die phänomenale Spitze steht es nicht besser. Ihre einfachsten Begriffe wie Raum, Ding, Kausalität, ragen ins Gebiet der Philosophie hinein, und die Philosophie ist, welches auch sonst ihre Verdienste sein mögen, berühmt als die Wissenschaft mit den ausdauerndsten und unlösbarsten Streitigkeiten. Man wäre froh, wenn man in ihr auch nur eine allgemein anerkannte Front der Forschung vorfände. Frei vom Streit ist nur gerade die Mitte der Doppelpyramide, der Bauch der Wissenschaft, die klassische Mathematik und Physik: Euklidische Geometrie, Arithmetik und Analysis, Mechanik, Thermodynamik, Elektrizität, Optik usw.

Auf ähnliche Schwierigkeiten stößt jeder Versuch der Erkenntnis von Wirklichem. Wie stellt man sich zu ihnen ein? Die philosophische Wissenschaftstheorie hat bisher keine Begriffe zur Verfügung gestellt, mit deren Hilfe wir diese Lage adäquat denken könnten. Fixieren wir sie daher lieber zunächst in *Gleichnissen*. Heisenberg sagt, dass die abgeschlossenen Disziplinen der exakten Wissenschaft gleichsam über einer allseits unergründeten Tiefe schweben. Man könnte die Wissenschaft auch einem Schiff vergleichen, das zwischen der unerforschten Höhe des Himmels und der unergründeten Tiefe des Meeres „in der Mitte ist“. Und wenn wir den Fortschritt der Forschung noch in das Bild aufnehmen wollen, so können wir ein weniger poetisches Gleichnis wählen: Die Wissenschaft gleicht der Aufgabe, ein Garnknäuel zu entwirren, von dem nur in der Mitte einige Fäden freiliegen, während wir keins der Enden in der Hand halten.

Das Gleichnis vom Garnknäuel lässt noch eine weitere Anwendung zu: Vielleicht hängen die beiden Enden miteinander zusammen. Ich sprach von der gegenseitigen Abhängigkeit beider Aufbauweisen. Sie zeigt sich am deutlichsten in der jeweiligen Front der Forschung. Gerade die modernste Physik der sinnlich nicht mehr wahrnehmbaren Gegenstände hat das Nachdenken über die Grundlagen sinnlicher Erfahrung sowohl angeregt wie gebraucht. Denken Sie an die Begriffe der Gleichzeitigkeit in der speziellen Relativitätstheorie, der Dinglichkeit und Kausalität in der Atomphysik. Wie auch der letzte Aufbau der Physik, wenn es einen solchen je geben wird, aussehen mag, ihre Entstehung verdankt sie dem immer wiederholten Durchlaufen des *Zirkels* der gegenseitigen Abhängigkeit unserer phänomenalen und gegenständlichen Begriffe. Die Doppelpyramide schließt sich, gleichnisweise gesprochen, immer wieder einmal zum Ring.

Das Bisherige ist gesagt, um Ihnen bestimmte Probleme ins Bewusstsein zu rufen. Es ist aber selbst noch kein Teil des begrifflichen Aufbaus, wie schon die Verwendung von Gleichnissen zeigt. Was uns diese Gleichnisse über das beim begrifflichen Aufbau nötige Verfahren lehren, will ich selbst noch einmal in einem Gleichnis ausdrücken. Es ist eine Anekdote.

Niels Bohr ist der Mann, von dem wir Atomphysiker alle die Art des Denkens gelernt haben, die ich versucht habe in den Gleichnissen anzudeuten. Er versteht, vielleicht nicht ganz mit Recht, unter dem Namen „Philosophen“ vor allem Leute, die diesen schwebenden Charakter der Erkenntnis nicht verstanden haben und von einem festen Punkt aus alle Erkenntnis aufbauen wollen. Einmal waren wir miteinander auf einer Skihütte und wuschen nach einer selbstbereiteten Mahlzeit Teller und Gläser ab. Bohr trocknete mit besonderer Liebe die Gläser ab und betrachtete nachher mit Stolz, wie sauber sie unter seiner Hand geworden waren. Dann sagte er nachdenklich: „Dass man mit schmutzigem Wasser und einem schmutzigen Tuch schmutzige Gläser sauber machen kann – wenn man das einem Philosophen sagen würde, er würde es nicht glauben.“

Wir müssen in der Tat mit den unsaubereren Begriffen, wie sie uns die Praxis bietet, anfangen und sie mit der Zeit immer weiter reinigen, indem wir sie gleichsam aneinander reiben, ohne doch ein Ende dieser Reinigung vorherzusehen. Ich bin nur in dem einen Punkt mit Bohrs Formulierung vielleicht nicht ganz einig, dass mir gerade das Bewusstsein dieser Vorläufigkeit, dieses andeutenden Charakters jedes Begriffs das eigentlich philosophische Bewusstsein zu sein scheint. Ich möchte mich dafür auf zwei Philosophen berufen, die in der herrschenden Auffassung als Gegenpole gelten, James und Platon. Bohr selbst hat, wie er gelegentlich sagt, Entscheidendes gelernt von William James, dem amerikanischen Pragmatisten, der das Denken als

eine Weise des Handelns nach dem Verfahren von Versuch und Irrtum versteht. Es gibt eine bestimmte Art des philosophischen Hochmuts, welche den Pragmatismus grundsätzlich verachtet und ihn, im Anschluss an die Bohrsche Anekdote, vielleicht als Tellerwäscherphilosophie bezeichnen würde. Ich möchte davor warnen. Der Pragmatismus ist wie jeder Ismus einseitig. Aber was man von ihm lernen kann, soll man von ihm lernen. Und gerade der wirkliche Philosoph muss die Wahrheit auch an der scheinbar banalsten Wirklichkeit, auch am Tellerwaschen, zeigen können. Denken Sie an Heraklit. Als ihn einige Leute besuchen wollten, um von ihm zu lernen, sahen sie, dass er an einem Backofen stand und sich wärmte, weil er fror. Vor dieser prosaischen Situation wollten diese Geistlinge umkehren. Da sagte er: „Kommt nur her, auch hier sind Götter.“ Wenn es Götter gibt, sind sie überall. Will ich angemessen von diesen Dingen sprechen, so werde ich mich doch am besten zu dem größten Philosophen, zu Platon wenden. Aber auch er hat gewusst und ausgesprochen, dass die letzte Erkenntnis nicht gesagt werden kann. Platon vermeidet die Erstarrung der Aussagen zu kristallisierten Begriffen, indem er durch Dialektik und Mythos den Begriff stets so in der Schwebelage gehalten hat, dass er nichts als der auf jenes Unsagbare hingeschossene fliegende Pfeil blieb.

Es kann nicht Aufgabe meiner jetzigen Bemühung sein, Sie durch alle schon vollzogenen Stufen dieser Begriffsreinigung hindurchzuführen. Ich muss versuchen, Sie sofort auf den heutigen Stand zu führen. Aber der schwebende, zirkelhafte Charakter der Erkenntnis bringt es mit sich, dass es dafür nicht einen selbstverständlichen Ausgangspunkt gibt. Man muss irgendwo in den Umlauf hineinspringen und man wird die Erfahrung machen, dass man nicht aufs erste Mal ganz hineinfindet.

Ich beginne damit, dass ich versuche, Ihnen den wesentlichen Gehalt dessen, was ich soeben in Gleichnissen gesagt habe, noch

einmal in erkenntnistheoretischer Schärfe zu sagen. Ich bemühe mich nunmehr also um strenge Begrifflichkeit. Die Sachlage bringt es mit sich, dass auch diese Begriffe, um unmittelbar verständlich zu sein, einen Charakter der Vorläufigkeit und Unschärfe tragen werden. Sie werden eingeführt, um die Basis für ihre eigene Überwindung zu legen.

b. Erkenntnis

Die Ansicht, die ich bezweifeln möchte, meint, es könne in der Wissenschaft irgendwo absolute, in sich selbst ruhende Gewissheit geben. Absolute Gewissheit könnte auch mit den Worten umschrieben werden: Erkenntnis, die keinem Zweifel unterworfen ist. Damit werden die Begriffe *Erkenntnis* und *Zweifel* zum Gegenstand der Prüfung.

Betrachten wir eine einfache physikalische Erkenntnis, z. B. „Blei ist schwerer als Wasser“.

Dieser Satz ist *richtig*. Was bedeutet das?

Der Satz *behauptet* etwas. Das was er behauptet, ist ein *Sachverhalt*, nämlich dass Blei schwerer ist als Wasser. Der Satz ist richtig, wenn der Sachverhalt *besteht*, d.h. wenn Blei wirklich schwerer ist als Wasser. Nun ist Blei in der Tat schwerer als Wasser, und das meine ich zunächst, wenn ich sage, der Satz sei richtig.

Der Sachverhalt bestünde auch, wenn ich ihn nicht behauptet hätte. Ich habe ihn aber nun behauptet, weil ich ihn *erkannt* habe. Was ich erkannt habe, *weiß* ich. Dieses Erkenntnis oder dieses Wissen wird durch den Satz *ausgedrückt*.

Der Satz bezieht sich also auf zweierlei: auf einen Vorgang oder Zustand in meinem *Bewusstsein*, den ich Erkenntnis oder Wissen nenne, und auf das, *wovon* ich ein Bewusstsein *habe*, den Sachverhalt. Bewusstsein ist *Bewusstsein von etwas*. Den einzelnen Erkenntnisvorgang oder Wissenszustand nenne ich

einen Bewusstseinsakt. Den Sachverhalt nenne ich den *Inhalt* der Erkenntnis oder des Wissens. Ich sage, dass der Satz den Bewusstseinsakt *ausdrückt* und den Bewusstseinsinhalt *behaup- tet*.

Ich sage, dass mir im einzelnen Akt sein jeweiliger Inhalt *gegeben* ist. Ich drücke damit zugleich auch aus, dass mir im Akt zunächst auch *nur* sein Inhalt gegeben ist, nicht aber, oder jedenfalls nicht ausdrücklich der Erkenntnisakt selbst. Wenn ich sage „Blei ist schwerer als Wasser“, so meine ich, dass Blei schwerer ist als Wasser, und sonst nichts. Ich meine nicht, dass ich jetzt gerade denke und weiß, dass Blei schwerer ist als Wasser. Andererseits bin ich, sowie ich die Frage stelle, ob ich das gerade denke und weiß, gewiss, dass ich es gerade denke und weiß. Das Bewusstsein ist sich selbst als Bewusstsein nicht unbekannt, aber es ist sich von Natur nicht Thema. Das Bewusstsein kennt seinen Inhalt *ausdrücklich*, sich selbst aber *unausdrücklich*. Bewusstsein ist im Allgemeinen *selbstvergessen*. Es „denkt an“ den Inhalt, nicht an sich.

Will ich das Bewusstsein ausdrücklich erkennen, so muss ich einen Erkenntnisakt vollziehen, der das Bestehen dessen *behaup- tet*, was im ursprünglichen Satz *ausgedrückt* war: der Erkenntnis. Diesen neuen Erkenntnisakt nenne ich einen Akt der *Reflexion*. Das Bewusstsein wird in ihm auf sich „zurückgebogen“. Ich nenne diesen neuen Erkenntnisakt eine *reflektierende Erkenntnis*. Den ursprünglichen Akt nenne ich eine *schlichte* Erkenntnis. Ein Wissen oder eine Erkenntnis, welche Inhalt einer reflektierenden Erkenntnis geworden sind, kurz: *auf* welche ich reflektiert habe, nenne ich ein *reflektiertes Wissen* oder eine *reflektierte Erkenntnis*. Verstehe ich unter „Erkenntnis“ einen jeweils neuen Vorgang, so wäre jede Erkenntnis immer wieder schlicht. Indem ich aber erkenne, dass sie einen schon bekannten Sachverhalt „wiedererkennt“, kann sie Anteil haben

an reflektiertem Wissen. Eine reflektierende Erkenntnis ist im Allgemeinen schlicht, es sei denn, es werde nochmals auf sie reflektiert.

Solange ich nur an den ursprünglichen Inhalt denke, dass Blei schwerer ist als Wasser, kann ich sagen, der Satz „Blei ist schwerer als Wasser“ *sei* die Erkenntnis. Wenn ich reflektiere, stelle ich fest, dass der Satz diese Erkenntnis eigentlich nur ausdrückt. D. h. ich unterscheide nun zwischen dem *Satzkörper* (diesem Schall, diesen Kreidestrichen an der Tafel) und dem *Sinn* des Satzes. Das Wort „Sinn“ ist zweideutig, da es den Akt oder den Inhalt meinen kann. Ich werde es daher nur dort gebrauchen, wo es auf den Unterschied von Akt und Inhalt, von Ausdruck und Behauptung nicht ankommt.

Die Unterscheidung zwischen dem Satzkörper und seinem Sinn ist ein Akt der Reflexion. Gewöhnlich *dient* der Satz selbstvergessen als *Ausdruck* des Akts oder, was nach unseren Definitionen gleichbedeutend ist, als *Behauptung* seines Inhalts. Den Satz, der so dient, nenne ich einen *schlichten Ausdruck*, eine *schlichte Behauptung* oder kurz einen *schlichten Satz*. Einen Satz, auf dessen Sinn reflektiert worden ist, nenne ich entsprechend einen *reflektierten Satz*. Ebenso kann man einzelne *Worte* schlicht oder reflektiert gebrauchen. Die Einzelheiten dieser Möglichkeiten erörtere ich hier nicht; sie würden uns tief in die Logik hineinführen.

Ein Erkenntnisakt braucht nicht ausgedrückt zu werden. Ich kann einen Sachverhalt schweigend, aber bewusst zur Kenntnis nehmen. Ich lasse ein Stück Blei in Wasser fallen und sehe es untergehen; nun stelle ich fest oder erinnere mich daran, dass Blei schwerer ist als Wasser, aber es lohnt nicht davon zu reden. Der Gedanke kann auch, indem ich etwas anderes tue, nebenher auftauchen oder anklingen. Ich kann einen Sack mit Blei beschweren, damit er untergeht. Hier ist mir der Sachverhalt in