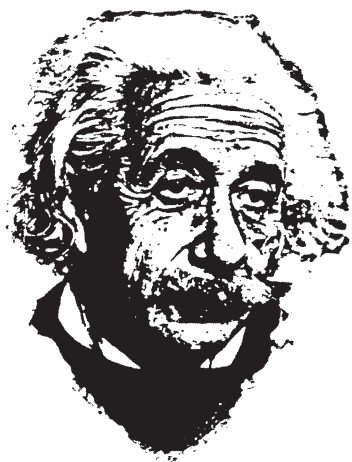


G

GOLDMANN

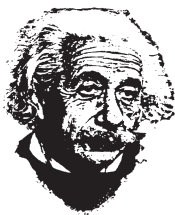
ALBERT EINSTEIN

**AUSGEWÄHLTE
TEXTE**



AUSGEWÄHLTE TEXTE

Herausgegeben von
Hans Christian Meiser



ALBERT
EINSTEIN

GOLDMANN VERLAG

Made in Germany • 9/86 • 1. Auflage
© der Originalausgabe 1986
beim Wilhelm Goldmann Verlag, München
Umschlaggestaltung: Design Team München
Satz: Filmsatz Schröter GmbH, München
Druck: Presse-Druck, Augsburg
Verlagsnummer: 8436
Lektorat: Sybille Terrahe/Herstellung: Gisela Ernst
ISBN 3-442-08436-9

Inhalt

Vorwort	7
----------------------	---

Philosophie

Selbstporträt (1936)	14
Moralischer Verfall (1937)	15
Eine Botschaft an die Nachwelt (1938)	18
Über die Freiheit (1940)	19
Sittlichkeit und Gefühl (1938)	23
Über Erziehung (1936)	32
Warum Krieg? (1932)	42
<i>Briefwechsel mit Sigmund Freud</i>	42

Wissenschaft

Motive des Forschens	72
<i>Ansprache, gehalten am 26. April 1918 in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft anlässlich des sechzigsten Geburtstages von Max Planck</i>	
Die Entwicklung der mechanistischen Auffassung(1938) ...	78
<i>Die große Detektivgeschichte 78 Der erste Schlüssel 81 Vektoren 91 Das Rätsel der Bewegung 100 Ein Schlüssel bleibt übrig 119 Ist Wärme eine Substanz? 125 Die Berg-und-Tal-Bahn 138 Der Umwechslungskurs 144 Der philosophische Hintergrund 149 Die kinetische Theorie der Materie 155</i>	
Äther und Relativitätstheorie	167
<i>Rede, gehalten am 5. Mai 1920 an der Reichs-Universität zu Leiden</i>	

Politik

Zur Organisation aller Geistesarbeiter (1945)	186
War Europa ein Erfolg? (1934)	189
Für die Freiheit der Meinung (1936)	191
Atomkrieg oder Friede I (1945); II (1947)	194
Bibliographische Notiz	219

Vorwort

»Wir haben alle segensreich erfahren,
Die Welt verdankt's ihm, was er sie gelehrt,
Schon längst verbreitet sich's in allen Scharen,
Das Eigenste, was ihm allein gehört.
Er glänzt uns vor, wie ein Komet entschwindet,
Unendlich Licht mit seinem Licht verbindend.«

Als der Freund Albert Einsteins und Verwalter seines Nachlasses, Otto Nathan, am 18. April 1955 in Princeton diese Worte Goethes zitierte, war an diesem Tag nicht nur der bedeutendste Physiker des 20. Jahrhunderts gestorben, sondern auch ein Forscher, welchen über sein Fachgebiet hinaus philosophische, ethische und politische Fragen bewegten, die er zu beantworten suchte, wenngleich nicht wie ein Gelehrter, der sich auf abstrakt-komplizierte Weise dem Problem nähert, sondern wie ein Mensch, der bestrebt ist, mit möglichst einfachen Worten zu einem tieferen Verständnis der Weltwirklichkeit beizutragen. Diese Wirklichkeit der Welt und ihre physikalischen Phänomene zu erfassen, war das Anliegen Einsteins, und sein Ringen um Wahrheit sollte nicht erfolglos bleiben.

Geboren wurde Albert Einstein am 14. März 1879 in Ulm als Sohn jüdischer Eltern. Seine Jugendjahre

verbrachte er in München, ab 1894 lebte er in Zürich, danach in Bern, wo er 1902 Beamter am Eidgenössischen Patentamt für geistiges Eigentum wurde. Seine physikalischen Forschungen führten ihn schon 1905 zum Beweis der atomistischen Struktur der Materie (›Theorie der Brownschen Bewegung‹), zur Begründung der speziellen Relativitätstheorie (›Zur Elektrodynamik bewegter Körper‹) und zur Entwicklung der ›Hypothese der Lichtquanten‹ aus dem Quantenansatz Max Plancks heraus. Professuren für Theoretische Physik in Zürich (1909) und Prag (1911) folgten. 1921 erhält Einstein den Nobelpreis für Physik, nicht jedoch für die – noch umstrittene – spezielle und allgemeine Relativitätstheorie, sondern für die Entdeckung des photoelektrischen Effekts (Entdeckung der Lichtquanten). 1933 muß Albert Einstein aufgrund seiner jüdischen Abstammung aus Deutschland emigrieren und bleibt bis 1945 Professor für Physik an der Universität von Princeton (New Jersey). Im März 1933 schreibt er:

Solange mir eine Möglichkeit offensteht, werde ich mich nur in einem Lande aufhalten, in dem politische Freiheit, Toleranz und Gleichheit aller Bürger vor dem Gesetz herrschen. Zur politischen Freiheit gehört die Freiheit der mündlichen und schriftlichen Äußerung politischer

Überzeugung, zur Toleranz die Achtung vor jeglicher Überzeugung eines Individuums. Diese Bedingungen sind gegenwärtig in Deutschland nicht erfüllt. Es werden dort diejenigen verfolgt, welche sich um die Pflege internationaler Verständigung besonders verdient gemacht haben, darunter einige der führenden Künstler. Wie jedes Individuum, so kann auch jeder gesellschaftliche Organismus psychisch krank werden, besonders in Zeiten erschwerter Existenz. Nationen pflegen solche Krankheiten zu überstehen. Ich hoffe, daß in Deutschland bald gesunde Verhältnisse eintreten werden und daß dort in Zukunft die großen Männer wie Kant und Goethe nicht nur von Zeit zu Zeit gefeiert werden, sondern daß sich auch die von ihnen gelehrtten Grundsätze im öffentlichen Leben und im allgemeinen Bewußtsein durchsetzen.

Daß Einstein ein Befürworter der menschlichen Koexistenz in Frieden war, geht schon aus diesen Zeilen hervor. Dennoch gerät er ins Kreuzfeuer der Kritik, als er 1939 zusammen mit anderen führenden Denkern in einem Brief an den amerikanischen Präsidenten Roosevelt den Anstoß zum Bau der ersten Atombombe gibt, aus der Überlegung heraus, daß

auch das nationalsozialistische Deutschland die Entdeckung der Uranspaltung für militärische Zwecke nutzen könnte. Später schreibt er: »Ich war mir der furchtbaren Gefahr wohl bewußt, welche das Gelingen dieses Unternehmens für die Menschheit bedeutete. Aber die Wahrscheinlichkeit, daß die Deutschen an demselben Problem mit Aussichten auf Erfolg arbeiten dürften, hat mich zu diesem Schritt gezwungen. Es blieb mir nichts anderes übrig, obwohl ich stets ein überzeugter Pazifist gewesen bin.« Fünf Jahre später übernimmt Einstein das Präsidium des ›Komitees zur Verhütung eines Atombombenkrieges‹, und als ihm 1952 das Amt des Staatspräsidenten von Israel angetragen wird, lehnt er ab.

Längst war Albert Einstein zur Legende geworden, ein Physiker, der sich um Philosophie wie Politik gleichermaßen kümmerte, ein Mensch, der sich für den Weltfrieden einsetzte, ohne die religiöse Bindung des Menschen dabei außer acht zu lassen. Da der ›Mythos Einstein‹ auch heute nach wie vor aktuell ist, will das vorliegende Buch die verschiedenartigen Aspekte ein und derselben Persönlichkeit beleuchten, wobei das Kapitel ›Wissenschaft‹ auch dem physikalisch nicht gebildeten Leser einen leichten Einstieg in die Naturphänomene ermöglicht und ihn somit befähigt, den Aufsatz ›Äther und Relativitätstheorie‹ nachzuvollziehen. Die Kapitel ›Philosophie‹ und ›Politik‹ zeigen

Einstein als Denker, der sich vor ethischen und sozialen Problemen nicht versteckt, sondern versucht, auch diese zu lösen, während er gleichzeitig für höchste sittliche Ideale eintritt. Diesen Aspekt bedenkend, schrieb – vier Monate vor seinem eigenen Tod – ein anderer, aus Deutschland emigrierter Denker, Thomas Mann, als er von Einsteins Ableben erfuhr: »Will man bezweifeln, daß der Gram über den unseligen Gang der Welt und das gräßlich Drohende, wozu seine Wissenschaft auch noch unschuldig die Hand geboten, sein organisches Leiden gefördert, ja miterzeugt und sein Leben verkürzt hat? Er war aber der Mensch, der im äußersten Augenblicke noch, gestützt auf seine schon mythische Autorität, sich dem Verhängnis entgegengeworfen haben würde. Und wenn heute unter allen Volksheiten, Farben und Religionen einmütige Trauer und Bestürzung sich zeigt bei der Meldung von seinem Tode, so bekundet sich darin das irrationale Gefühl, sein bloßes Dasein möchte es vermocht haben, der letzten Katastrophe den Weg zu verstellen. In Albert Einstein starb ein Ehrenretter der Menschheit, dessen Name nie untergehen wird.«

Zur Ehrenrettung der Menschheit wurde 1979 in Chicago anlässlich des 100. Geburtstages Einsteins die Albert-Einstein-Friedenspreis-Stiftung gegründet. Dieser Preis wurde 1985 dem früheren Bundeskanzler Willy Brandt übergeben, für seine ›vergan-

nen Leistungen und fortgesetzten Bemühungen für Aussöhnung und Weltfrieden«. Daß Einsteins Ideale weiterwirken, weiterleben können, verleiht der Hoffnung Ausdruck, daß diese Welt doch die beste aller möglichen Welten werden kann.

Der Herausgeber

PHILOSOPHIE

Selbstporträt (1936)

Was an der eigenen Existenz bedeutsam ist, wird uns selber kaum bewußt und sollte die Mitmenschen gewiß nicht kümmern. Was weiß ein Fisch vom Wasser, in dem er sein Lebtage herumschwimmt?

Das Bittere und das Süße kommt von außen, die Härte von innen, aus der eigenen Mühsal. Ich tue meist das, wozu meine Natur mich treibt. Daher bringt es mich in Verlegenheit, wenn ich dafür so viel Respekt und Liebe ernte. Zwar wurden auch Pfeile des Hasses auf mich abgeschossen, aber sie trafen mich nie, sie kamen gleichsam aus einer anderen Welt, mit der ich nichts zu schaffen habe.

Heute lebe ich in jener Einsamkeit, die in der Jugend so schmerzlich, aber in den Jahren der Reife so köstlich ist.

Moralischer Verfall (1937)

Alle Religionen, Künste und Wissenschaften sind Zweige desselben Baumes. Alle diese Bestrebungen zielen darauf hin, das menschliche Leben zu veredeln, es emporzuheben aus der Sphäre der rein leiblichen Existenz und den einzelnen in die Freiheit zu führen. Es ist kein bloßer Zufall, daß sich unsere älteren Universitäten aus geistlichen Schulen entwickelten. Gemeinsam dienen Kirchen und Universitäten – insoweit sie hier ihrer wahren Funktion gemäß leben – der Veredlung des Individuums. Um diese hohe Aufgabe zu erfüllen, verbreiten sie moralisches und kulturelles Verständnis und verdammen den Gebrauch roher Gewalt. Die wesensmäßige Einheit der kirchlichen und weltlichen kulturellen Einrichtungen brach im 19. Jahrhundert auseinander; der Zwiespalt führte zu sinnloser Feindschaft. Und doch bestand nie ein Zweifel an dem gemeinsamen Streben nach Kultur. Nicht um das heilige Ziel, um den richtigen Weg wurde gestritten. Die politischen und wirtschaftlichen Konflikte und Verwicklungen der letzten paar Jahrzehnte haben Gefahren heraufbeschworen, die sich selbst der finsterste Pessimist des vorigen Jahrhunderts nicht hätte träumen lassen. Die biblischen Gebote, selbstverständliche Forde-

rungen an den einzelnen und die Allgemeinheit, galten noch gleichermaßen für Gläubige und Ungläubige. Man hätte niemanden ernst genommen, der nicht das Forschen nach objektiver Wahrheit und Erkenntnis als des Menschen höchstes und ewiges Ziel anerkannt hätte. Doch heute sehen wir mit Schrecken, daß diese Säulen des zivilisierten menschlichen Daseins ihre Tragfähigkeit eingebüßt haben. Nationen von einst hohem Rang verneigen sich tief vor Tyrannen, die öffentlich zu behaupten wagen: Recht ist, was dem Volke nützt! Das Forschen nach Wahrheit um ihrer selbst willen hat keine Berechtigung mehr und wird nicht mehr geduldet. Willkür und Unterdrückung, die Verfolgung von einzelnen, von Bekenntnissen und Gemeinschaften sind in diesen Ländern an der Tagesordnung; man nimmt sie als berechtigt oder unvermeidlich hin.

Und die übrige Welt hat sich an diese Symptome des moralischen Verfalls langsam gewöhnt. Die elementare Reaktion gegen Ungerechtigkeit und für Gerechtigkeit ist abhanden gekommen – jene Reaktion, die auf die Dauer des Menschen einzigen Schutz gegen einen Rückfall in die Barbarei gewährleistet.

Denn ich bin überzeugt, der leidenschaftliche Wille zu Gerechtigkeit und Wahrheit hat mehr zur Verbesserung der menschlichen Lebensbedingungen beigetragen als die berechnende politische Schlau-

heit, die auf die Dauer nur allgemeines Mißtrauen erzeugt. Wer will bezweifeln, daß Moses ein besserer Führer der Menschheit war als Machiavelli?

Während des Weltkrieges hat man einmal versucht, einen großen holländischen Gelehrten zu überzeugen, daß in der menschlichen Geschichte Macht vor Recht gehe. »Ich kann die Richtigkeit Ihres Satzes nicht widerlegen«, erwiderte dieser, »aber das weiß ich, daß ich in einer solchen Welt nicht leben möchte.«

Wie dieser Mann wollen auch wir denken, fühlen und handeln und wollen uns weigern, einen verhängnisvollen Kompromiß hinzunehmen. Selbst den Kampf wollen wir nicht scheuen, wenn er unvermeidlich ist, um das Recht und die Würde des Menschen zu wahren. Dann werden bald Verhältnisse wiederkehren, in denen man sich freuen kann, ein Mensch zu sein.

Eine Botschaft an die Nachwelt (1938)

Unsere Welt ist reich an schöpferischen Geistern, deren Erfindungen unser Leben beträchtlich erleichtern könnten. Wir befahren die Meere mit menschlicher Kraft und benutzen diese Kraft, um den Menschen alle ermüdende Muskelarbeit zu ersparen. Wir haben das Fliegen gelernt und können mit Hilfe elektrischer Wellen Nachrichten und Neuigkeiten ohne Schwierigkeit über die ganze Welt verbreiten. Dagegen ist die Produktion und Verteilung der Güter so wenig organisiert, daß ein jeder in der beständigen Furcht lebt, aus dem ökonomischen Kreislauf ausgeschlossen zu werden und dem Elend anheimzufallen. Darüber hinaus bringen sich die Völker in verschiedenen Ländern in unregelmäßigen Zeitabständen gegenseitig um, so daß jeder, der an die Zukunft denkt, schon deshalb in Angst und Schrecken leben muß. Das aber liegt allein daran, daß es den Massen mehr an Verstand und Charakter fehlt als den wenigen, die für die Gemeinschaft etwas Wertvolles schaffen. Ich vertraue darauf, daß die Nachwelt diese Betrachtungen mit einem Gefühl stolzer und berechtigter Überlegenheit lesen wird.

Über die Freiheit (1940)

Ich weiß, es ist ein hoffnungsloses Unterfangen, über fundamentale Werturteile diskutieren zu wollen. Wenn es z. B. jemand als seine Aufgabe betrachtet, die menschliche Rasse vom Erdboden zu vertilgen, läßt sich sein Standpunkt nicht mit Vernunftgründen widerlegen. Hat man sich aber über gewisse Aufgaben und Werte geeinigt, kann man sehr wohl vernünftig über die Mittel reden, mit denen sich diese Ziele verwirklichen lassen. Nehmen wir also zwei Ziele an, über die sich alle, die diese Zeilen lesen, wohl einig sein werden.

1. Alle materiellen Güter, die dazu dienen, Leben und Gesundheit der Menschen zu erhalten, sind mit der denkbar geringsten Arbeitsleistung herzustellen.

2. Die Befriedigung unserer physischen Bedürfnisse ist zwar die unerläßliche Voraussetzung für unser Wohlergehen, sie genügt aber nicht. Zur eigenen Befriedigung muß der Mensch zudem noch die Möglichkeit haben, seine persönlichen Gaben nach seinen geistigen und künstlerischen Fähigkeiten beliebig entwickeln zu können.

Das erste dieser beiden Ziele erheischt die Vermehrung aller Erkenntnisse, die sich auf die Gesetze der Natur und die Gesetze des sozialen Fortschritts

beziehen, d. h. die Förderung jeder wissenschaftlichen Forschung. Denn wissenschaftliche Forschung ist ein natürliches Ganzes, dessen einzelne Teile sich gegenseitig auf eine Art bedingen, die sich häufig kaum vorausahnen läßt. Allerdings setzt der Fortschritt der Wissenschaft die Möglichkeit eines uneingeschränkten Austausches aller Ergebnisse voraus – und damit die Freiheit der Meinungsäußerung und Lehre auf allen Gebieten wissenschaftlicher Forschung. Dabei verstehe ich unter Freiheit soziale Verhältnisse, in denen sich jeder über allgemeine und spezielle Wissensgebiete äußern kann, ohne eine persönliche Gefährdung oder sonstige Nachteile gewärtigen zu müssen. Diese Freiheit des Meinungsaustausches ist für die Verbreitung und Entwicklung wissenschaftlicher Erkenntnis unerlässlich und von großer praktischer Tragweite. In erster Linie muß das Gesetz sie garantieren. Aber Gesetze allein können die Freiheit der Meinungsäußerung nicht sichern; damit jeder ungestraft seine Ansicht vertreten kann, muß im ganzen Volk der Geist der Toleranz gepflegt werden. Ein solches Ideal der äußeren Freiheit läßt sich freilich niemals ganz verwirklichen; doch muß man unermüdlich danach streben, wenn der Gedanke der Wissenschaft und das philosophische Denken überhaupt noch weiterleben sollen.

Für die Erreichung des zweiten Ziels, nämlich die geistige Entwicklung aller Menschen zu ermöglichen, ist eine andere Art äußerer Freiheit vonnöten. Der Mensch dürfte sich für den Erwerb seines Lebensunterhalts nicht mehr in solchem Maß abplagen, daß ihm weder Zeit noch Kraft für eine persönliche Betätigung bleibt. Ohne diese zweite Freiheit ist die der Meinungsäußerung für ihn nutzlos. Die Fortschritte der Technik würden ihm schon zu einer solchen Freiheit verhelfen, wenn erst das Problem einer vernünftigen Arbeitsteilung gelöst wäre.

Die Entwicklung der Wissenschaft und jeder anderen schöpferischen, geistigen Tätigkeit erfordert aber auch eine innere Freiheit. Diese Freiheit des Geistes besteht darin, daß sich das menschliche Denken freimacht von den Einschränkungen autoritärer und sozialer Vorurteile und sich im geistlosen Einerlei des Alltags seine Unabhängigkeit bewahrt. Diese innere Freiheit ist eine seltene Gabe der Natur und wohl wert, daß der einzelne nach ihr strebt. Aber auch die Gemeinschaft kann dieses Streben unterstützen, zum mindesten sollte sie es niemals unterbinden. Schulen z.B. können die Entwicklung der inneren Freiheit hemmen, wenn sie autoritären Einfluß ausüben oder der Jugend übermäßige geistige Lasten auferlegen; andererseits fördern sie eine solche Freiheit, wenn sie zu unabhängigem Denken ermutigen. Aber

nur im ständigen Streben nach beidem, der inneren und äußeren Freiheit, gewinnen wir die Möglichkeit zur geistigen Entwicklung und Vollendung und damit zu einer Verbesserung unseres äußeren und inneren Lebens.

Sittlichkeit und Gefühl (1938)

Wir alle wissen aus der Erfahrung, die wir an und in uns selber machen, daß unsere bewußten Handlungen aus Begierde und Furcht entstehen. Und wir wissen intuitiv, daß dasselbe auch von unseren Mitmenschen und den höheren Tieren gilt. Wir alle sind bemüht, Schmerz und Tod zu meiden und das Angenehme zu suchen. In unserem Tun werden wir von Impulsen beherrscht, und diese Impulse sind so beschaffen, daß unsere Handlungen allgemein der Selbsterhaltung des einzelnen und der Rasse dienen. Hunger, Liebe, Schmerz und Furcht gehören zu diesen inneren Kräften, die den Selbsterhaltungstrieb des Menschen beherrschen. Als soziales Wesen wird der Mensch aber gleichzeitig in seinen Beziehungen zur Mitwelt von Gefühlen wie Zuneigung, Stolz, Haß, Machthunger, Mitleid usw. bewegt. Alle diese primären Impulse, die sich nicht leicht in Worte fassen lassen, sind die Triebfedern seines Handelns. Und jede Handlung würde stocken, wenn diese mächtigen elementaren Kräfte aufhörten, sich in uns zu regen.

In unserem Verhalten scheinen wir uns zwar stark von den höheren Tieren zu unterscheiden, doch sind ihre und unsere primären Instinkte einander sehr ähnlich. Der Hauptunterschied besteht in der Vor-

stellungskraft und Denkfähigkeit des Menschen, welche durch Sprache und andere symbolische Zeichen noch verstärkt werden. Das Denken ist der ordnende Faktor im Menschen, eingeschaltet zwischen die primären Instinkte und die daraus folgenden Handlungen. Auf diese Weise treten Vorstellungs- und Urteilskraft als Diener der primären Instinkte in unser Dasein. Aber damit bewirken sie, daß unser Tun immer weniger auf die unmittelbare Befriedigung unserer Instinkte gerichtet ist. Sie verbinden den primären Instinkt mit Zielen, die sich immer weiter entfernen: Die Instinkte setzen das Denken in Tätigkeit, und das Denken wiederum ruft unter dem Einfluß von Gefühlen, die gleichfalls auf das letzte Ziel bezogen sind, zweckbedingte Handlungen hervor. Die Wiederholung dieses Vorgangs führt dazu, daß Ideen und Glaubenssätze eine starke Wirksamkeit erlangen und auch behalten, wenn diese Ziele, von denen ihnen diese Kraft kam, längst vergessen sind. Bei abnormen Fällen solcher intensiven, entliehenen Gefühle, die an Gegenständen auch nach Einbuße ihrer ursprünglichen Bedeutung haften bleiben, sprechen wir von Fetischismus. Doch spielt dieser schon beschriebene Prozeß auch im Alltagsleben eine bedeutende Rolle. Tatsächlich unterliegt es keinem Zweifel, daß der Mensch diesem Vorgang – der sich als eine Vergeistigung des Fühlens und Denkens beschreiben

läßt – die sublimsten Freuden verdankt, deren er fähig ist: die Freude an der Schönheit künstlerischer Schöpfung und logischer Gedankenreihen.

Soweit ich Umschau halte, geht jede Morallehre von *einer* Überlegung aus: Wenn sich die Menschen als Einzelwesen der Forderung ihrer elementaren Triebe unterwerfen, also den Schmerz vermeiden und nur nach eigener Befriedigung trachten, dann wird sich für die Allgemeinheit ein Zustand der Unsicherheit, der Furcht und des gemeinsamen Elends ergeben. Wenn sie daneben ihre Intelligenz nur für persönliche, d. h. selbstsüchtige Zwecke benutzen und sich ihr Leben auf der Illusion einer glücklichen, ungebundenen Existenz aufbauen, wird sich ihre Lage kaum bessern. Im Vergleich zu diesen ursprünglichen Trieben und Impulsen sind ja die Gefühle der Liebe, des Mitleids und der Freundschaft viel zu schwach und unterentwickelt, um von sich aus der menschlichen Gemeinschaft ein erträgliches Los zu garantieren.

Die Lösung dieses Problems ist bei unbefangenen Zusehern nur allzu einfach und scheint aus der Lehre aller Weisen der Vergangenheit in derselben Tonart widerzuklingen: Alle Menschen sollen ihr Verhalten nach denselben Prinzipien richten, und zwar so, daß die Befolgung dieser Prinzipien allen das größtmögliche Maß an Sicherheit und Befriedigung und das

kleinstmögliche an Leiden gewährt. Diese allgemeine Forderung ist natürlich viel zu unbestimmt, als daß wir daraus vertrauensvoll bestimmte Gesetze für die Handlungen des einzelnen ableiten können. Tatsächlich müssen diese bestimmten Gesetze wechseln, um mit den wechselnden Verhältnissen Schritt zu halten. Wäre das die Hauptschwierigkeit, welche dieser kühnen Konzeption im Wege steht, dann wäre das Schicksal des Menschen seit Jahrtausenden unvergleichlich viel glücklicher gewesen, als es tatsächlich war oder gegenwärtig ist. Die Menschen hätten sich nicht gegenseitig getötet, gefoltert und mit Gewalt oder List ausgebeutet.

Nein, die wahre Schwierigkeit, die Schwierigkeit, welche die Weisen aller Zeiten immer aufs neue verwirrt hat, besteht vielmehr hierin: Wie kann die moralische Erziehung dem Menschen zur Beherrschung seiner Triebe verhelfen? Wie kann ihr Einfluß dem Druck seiner elementaren psychischen Kräfte standhalten?

Wir wissen natürlich nicht, ob sich die Weisen der Vergangenheit dieser Frage bewußt waren und sie in dieser Form gestellt haben, aber wir wissen sehr wohl, daß sie versuchten, dieser Schwierigkeit Herr zu werden.

In früheren Zeiten, lange bevor die Menschen reif waren, dieses moralische Problem überhaupt zu ver-

stehen, hatten sie in ihrer Angst vor den Gefahren des Lebens verschiedenen, unkörperlichen Wesen ihrer Vorstellungswelt die Kraft beigelegt, jene Gewalten zu entfesseln, die ihnen verhaßt oder willkommen waren. Und sie glaubten, daß diese Wesen, die allenthalben ihre Phantasie beherrschten, wohl psychisch nach ihrem eigenen Bilde geschaffen, aber darüber hinaus mit übermenschlichen Kräften begabt waren. Das waren die primitiven Vorläufer des Gottesgedankens. Entsprang dieser Glaube vornehmlich der Furcht, die des Menschen tägliches Leben erfüllte, so übte doch die Vorstellung von der Existenz dieser Wesen und ihren ungewöhnlichen Kräften einen Einfluß auf die Menschen und ihr Verhalten aus, den wir uns heute nur noch schwer vorstellen können. Daher überrascht es nicht, daß jene Männer, die auszogen, um ihre Sittenlehre zu verbreiten, die allen Menschen in gleicher Weise galt, diese aufs engste mit der Religion verknüpften. Und gerade die Tatsache, daß sich ihre moralischen Forderungen unterschiedslos an alle Menschen richteten, mag wesentlich zur Entwicklung der religiösen Kultur vom Polytheismus zum Monotheismus beigetragen haben.

So verdankt das allgemeingültige Sittengesetz dieser Verknüpfung mit der Religion seine ursprüngliche psychologische Durchschlagskraft. Aber in an-

derer Hinsicht war diese Verbindung für die sittliche Idee verhängnisvoll.

Die monotheistische Religion nahm bei den verschiedenen Völkern und Gruppen verschiedene Formen an. Obwohl ihre Unterschiede keineswegs grundsätzlicher Natur waren, wurden sie doch sehr bald weit stärker empfunden als das allen Formen Gemeinsame und Wesentliche. So kam es, daß die Religion häufig Feindschaft und Konflikte heraufbeschwor, anstatt die Menschheit unter dem universalen Gedanken der Sittlichkeit zu vereinen.

Der Aufstieg der Naturwissenschaften mit ihrem großen Einfluß auf das Denken und praktische Leben schwächte dann das religiöse Empfinden der Völker in moderner Zeit noch mehr. Die kausale und objektive Denkungsweise braucht zwar nicht notwendig in Widerspruch zur Religion zu stehen, aber sie hindert die meisten Menschen an der Vertiefung ihrer religiösen Gesinnung. Durch Tradition an die Religion gebunden, mußte daher auch die Moral im menschlichen Denken und Fühlen während der letzten hundert Jahre eine ernstliche Schwächung erfahren. Meines Erachtens ist das eine der Hauptursachen für die wachsende Verrohung unserer heutigen Politik. Zusammen mit der erschreckenden Wirkung der neuen technischen Mittel wird diese Verrohung bereits zu einer furchtbaren Gefahr für unsere zivilisierte Welt.

Wir brauchen nicht zu betonen, daß es uns freut, wenn die Religion danach strebt, das sittliche Prinzip in die Tat umzusetzen. Der sittliche Imperativ ist dabei keineswegs nur eine Sache der Kirche und der Religion, sondern die kostbarste Überlieferung der Menschheit überhaupt. Betrachten wir doch von diesem Standpunkt aus einmal die Haltung der Presse oder der Schulen mit ihren Leistungsprüfungen! Sie wird beherrscht vom Kult der Leistungsfähigkeit und des Erfolgs, und niemand fragt nach dem Wert der Dinge und Menschen in ihrem Verhältnis zu den sittlichen Zielen der Gesellschaft. Hierher ist auch die moralische Entwurzelung zu rechnen, die nur ein Ergebnis unseres rücksichtslosen Wirtschaftskampfes darstellt. Die sogenannte Pflege der sittlichen Gesinnung müßte hier auch außerhalb des religiösen Bereiches Abhilfe schaffen, so daß die Menschen sich veranlaßt fühlten, unsere sozialen Probleme als eine Gelegenheit zu freudigem Dienst an einer besseren Zukunft anzusehen. Denn vom schlicht menschlichen Standpunkt aus enthält der Gedanke des sittlichen Verhaltens nicht so sehr die strenge Forderung, einigen begehrten Freuden des Lebens zu entsagen, als vielmehr das Gebot, sich für ein glücklicheres Los unserer Mitmenschen einzusetzen.

Diese Auffassung setzt vor allem voraus, daß jeder einzelne Gelegenheit erhält, alle in ihm schlummern-

den Gaben zur Entfaltung zu bringen. Allein auf die Weise kann der einzelne die Befriedigung finden, auf die er einen berechtigten Anspruch hat, und allein auf die Weise kann die Gemeinschaft zur reichsten Blüte gelangen. Denn alles wirklich Große und Erhabene wird vom einzelnen geschaffen, der in Freiheit wirken kann. Einschränkungen sind nur insoweit berechtigt, als sie zur Sicherung seiner Existenz unerläßlich sind.

Noch etwas anderes ergibt sich aus dieser Auffassung: Wir müssen alle Unterschiede zwischen einzelnen und Gruppen nicht nur dulden, sondern müssen sie tatsächlich begrüßen und als eine Bereicherung unseres Daseins betrachten. Darin besteht ja das Wesen echter Toleranz; ohne diese Toleranz im weitesten Sinne kann von wahrer Sittlichkeit nicht die Rede sein.

Sittlichkeit ist also kein starres und strenges System. Sie ist vielmehr ein Standpunkt, von dem aus wir alle Fragen, die im Leben auftauchen, beurteilen können und sollen. Diese Aufgabe findet niemals ein Ende; sie ist uns stets gegenwärtig; sie bestimmt unser Urteil und beflügelt unser Verhalten. Wer aber könnte sich vorstellen, daß ein Mann, wahrhaft erfüllt von diesem Ideal, einverstanden ist: Wenn er von seinen Mitmenschen ein viel größeres Entgelt an Gütern und Diensten empfängt als seine Mitmenschen?

Wenn sein Land, nur weil es sich gegenwärtig militärisch sicher fühlt, jeder Bemühung um ein übernationales System der Sicherheit und Gerechtigkeit fernbleibt?

Kann dieser Mann untätig oder gar gleichgültig zusehen, wenn anderswo in der Welt unschuldige Menschen brutal verfolgt, ihrer Rechte beraubt oder gar niedergemetzelt werden? Diese Fragen bedürfen wohl keiner Antwort!

Über Erziehung (1936)

Ein Jubiläumstag ist in erster Linie der Rückschau gewidmet und gilt vor allem dem Gedächtnis von Persönlichkeiten, die sich in der Entwicklung unseres Kulturlebens besondere Auszeichnungen erworben. Wir dürfen unseren Vorgängern diesen Freundschaftsdienst schon deshalb nicht verweigern, weil gerade das Gedenken an die Besten der Vergangenheit besonders geeignet ist, unsere aufbauwillige Jugend zu kühner Leistung anzuspornen. Aber das steht denen zu, die von Kindheit an mit diesem Staat verbunden und mit seiner Vergangenheit vertraut sind, und nicht einem Mann, der wie ein Zigeuner umherstreifte und in vielerlei Ländern seine Erfahrungen sammelte.

Daher muß ich mich auf die Fragen beschränken, die unabhängig von Raum und Zeit mit dem Gegenstand der Erziehung verknüpft sind und bleiben. Ich erhebe bei diesem Versuch auch keineswegs den Anspruch auf Autorität, zumal zu allen Zeiten kluge und redliche Männer sich mit Erziehungsproblemen beschäftigten und ihre Ansichten sicherlich oft genug geäußert haben. Wo aber soll ich als halber Laie auf dem Gebiet der Pädagogik den Mut hernehmen, Meinungen zu äußern, die sich einzig auf persönliche

Erfahrung und persönliche Überzeugung gründen? Handelte es sich wirklich um eine Sache der Wissenschaft, so könnte man wohl versucht sein, aus solchen Erwägungen heraus zu schweigen. Indessen geht es bei den Angelegenheiten tätiger Menschen um etwas anderes. Hier genügt die einmalige Erkenntnis der Wahrheit nicht; im Gegenteil, diese Erkenntnis muß beständig und unermüdlich erneuert werden, soll sie nicht verlorengehen. Sie gleicht darin einer Marmorstatue, die in der Wüste steht und ständig in Gefahr ist, vom Flugsand begraben zu werden. Fleißige Hände müssen sich unablässig rühren, damit der Marmor weiter in der Sonne schimmern kann. Zu diesen fleißigen Händen sollen auch die meinen gehören.

Die Schule war stets eins der wichtigsten Mittel, um den Reichtum der Tradition von einer Generation an die andere weiterzugeben. Das gilt heute in noch höherem Maße als früher. Denn die moderne Entwicklung des Wirtschaftslebens hat die Familie als Träger von Tradition und Erziehung geschwächt. Bestand und Gesundheit der menschlichen Gesellschaft hängen stärker als zuvor von der Schule ab. Zuweilen hält man die Schule nur für ein Instrument zur Weitergabe einer Höchstmenge von Wissen an die heranwachsende Generation. Das ist nicht richtig. Wissen allein ist tot; die Schule aber dient dem Lebendigen. Sie soll in den jungen Menschen alle Eigenschaften

und Fähigkeiten entwickeln, die für die Wohlfahrt der Allgemeinheit wertvoll sind. Das soll nicht heißen, daß die Individualität zerstört und der einzelne zum bloßen Werkzeug der Gemeinschaft werden soll, wie eine Biene oder eine Ameise. Denn eine Gemeinschaft gleichgerichteter Individuen ohne persönliche Originalität und persönliches Streben wäre eine kümmerliche Gemeinschaft, die keine Möglichkeit zur Entwicklung hätte. Im Gegenteil, das Ziel ist die Heranbildung unabhängig handelnder und denkender Personen, die allerdings im Dienst einer Gemeinschaft ihr höchstes Lebensproblem erblicken. Soweit ich es beurteilen kann, kommt das englische Schulsystem der Verwirklichung dieses Ideals am nächsten.

Aber wie soll man sich bemühen, dieses Ideal zu erreichen? Vielleicht mit Moralpredigten? Keineswegs. Worte sind und bleiben leerer Schall, auch mit Lippenbekenntnissen kann der Weg zur Hölle gepflastert sein. Persönlichkeiten aber werden nicht durch schöne Reden geformt, sondern durch Arbeit und eigene Leistung.

Demnach bestand die wichtigste Erziehungsmethode schon immer darin, daß man den Schüler zur eigenen Leistung zu veranlassen trachtete. Dazu diente der erste Schreibversuch des Knaben in der Volksschule, die Doktorarbeit zur Promotion, das bloße Auswendiglernen eines Gedichtes, das Schreiben ei-

nes Aufsatzes, die Interpretation und Übersetzung eines Textes, das Lösen einer mathematischen Aufgabe wie auch jede sportliche Betätigung. Aber hinter jeder Leistung steht ein Beweggrund, der seinerseits durch die richtige Erfüllung der Aufgabe gestärkt wird. In den Beweggründen finden sich aber die größten Unterschiede; sie kennzeichnen den eigentlichen erzieherischen Rang einer Schule. Dieselbe Leistung kann auf Angst und Zwang zurückgehen, auf den brennenden Ehrgeiz nach Führung und Auszeichnung, oder auf das liebevolle Interesse an der Sache, auf das Verlangen nach Wahrheit und Verständnis – und damit auf jene göttliche Neugier, die jedem gesunden Kinde innewohnt, aber oft schon frühzeitig verkümmert. Der erzieherische Einfluß auf den Schüler beim Durchführen ein und derselben Arbeit kann sehr verschieden sein und hängt ganz davon ab, ob Angst vor Schmerzen, egoistische Leidenschaft oder das Verlangen nach Freude und Befriedigung seiner Arbeit zugrunde liegen. Und niemand wird behaupten, diese psychologische Grundlage bei den Schülern werde nicht von der Verwaltung der Schule und der Einstellung der Lehrer beeinflußt.

Mir scheint es als das Schlimmste, wenn eine Schule prinzipiell mit den Methoden der Angst, der Gewalt und künstlichen Autorität arbeitet. Solche Behandlungsmethoden zerstören die gesunden Gefühle,

die Aufrichtigkeit und das Selbstvertrauen der Schüler. Damit produziert man den unterwürfigen Untertan. Es ist nicht zu verwundern, daß solche Schulen in Deutschland und Rußland die Regel sind. Ich weiß, daß die Schulen dieses Landes nicht von diesem schlimmsten Übel befallen sind, das trifft auch auf die Schweiz zu und wahrscheinlich auf alle demokratisch regierten Länder. Es ist ja auch ziemlich einfach, die Schule hiervon frei zu halten. Man gestatte dem Lehrer möglichst wenig Zwangsmaßnahmen, so daß der Schüler den Lehrer einzig wegen seiner menschlichen und geistigen Qualitäten respektiert.

Das zweitgenannte Motiv, der Ehrgeiz oder, milder ausgedrückt, das Streben nach Anerkennung und Beachtung ist tief in der menschlichen Natur verwurzelt. Fehlt ein solcher geistiger Antrieb, wäre die menschliche Zusammenarbeit völlig unmöglich; das Verlangen nach der Billigung unserer Mitmenschen ist sicherlich eine der wichtigsten Triebkräfte der Gesellschaft. In diesem Gefühlskomplex liegen aufbauende und zerstörende Kräfte nahe beieinander. Der Wunsch nach Lob und Anerkennung ist ein gesundes Motiv, aber der Wunsch, vor den Mitschülern als besser, stärker und klüger anerkannt zu werden, führt leicht zu einer überaus egoistischen Einstellung, die dem einzelnen und der Gemeinschaft nur schaden kann. Schule und Lehrer müssen sich daher vor An-

wendung der leichten Methode hüten, den persönlichen Ehrgeiz des Schülers als Ansporn zu verwenden.

Darwins Theorie vom Daseinskampf und der damit zusammenhängenden Auslese wurde oft zitiert, um den Geist des Wettkampfes zu rechtfertigen. Ebenso haben andere pseudowissenschaftlich die Notwendigkeit des verderblichen wirtschaftlichen Wettkampfes zwischen den einzelnen nachzuweisen versucht. Aber das ist falsch, weil der Mensch seine Kraft im Kampf um das Dasein dem Umstand verdankt, daß er ein geselliges Wesen ist. Ebensowenig wie ein Kampf zwischen den einzelnen Ameisen eines Ameisenhaufens entscheidet ein Kampf zwischen den einzelnen Gliedern der menschlichen Gesellschaft über das Weiterleben der Art. Daher sollte man sich hüten, dem jungen Menschen den Erfolg im üblichen Sinn als Ziel des Lebens hinzustellen. Als erfolgreicher Mann gilt jeder, der von seinen Mitmenschen mehr empfängt als seinen Diensten entspricht. Der Wert eines Mannes aber sollte in dem bestehen, was er gibt, und nicht in dem, was er zu erlangen vermag.

Also ist das wichtigste Motiv für die Arbeit in der Schule und im Leben die Freude an der Arbeit, die Freude an ihrem Ergebnis und die Erkenntnis ihres Wertes für die Gemeinschaft. Im Erwecken und Stär-

ken dieser seelischen Kräfte im jungen Menschen sehe ich die wichtigste Aufgabe, welche die Schule stellt. Nur aus einer solchen seelischen Grundeinstellung entsteht das freudige Verlangen nach den höchsten Gütern des Menschen, nach Wissen und künstlerischer Meisterschaft.

Diese produktiven Seelenkräfte zu wecken, ist sicherlich weniger leicht, als Gewalt zu üben oder den persönlichen Ehrgeiz anzustacheln, aber dafür ist es um so wertvoller. Es kommt darauf an, den kindlichen Spieltrieb und das kindliche Verlangen nach Anerkennung zu entwickeln und das Kind zu den für die Gesellschaft wichtigen Gebieten hinüberzuleiten; damit ist jene Erziehung gemeint, die hauptsächlich auf dem Verlangen nach erfolgreicher Tätigkeit und Anerkennung aufbaut. Gelingt es der Schule, von diesem Gesichtspunkt aus erfolgreich zu arbeiten, so wird die heranwachsende Generation sie in hohen Ehren halten und die von der Schule gestellten Aufgaben als eine Art Geschenk betrachten. Ich habe Kinder gekannt, denen die Schule lieber war als die Ferienzeit.

Eine Schule dieser Art verlangt, daß der Lehrer auf seinem Gebiet gewissermaßen ein Künstler ist. Wie aber können wir der Schule zu einem solchen Geist verhelfen? Dafür gibt es ebensowenig ein universales Heilmittel wie für den einzelnen ein Rezept

für ständige Gesundheit. Nur gewisse unerläßliche Bedingungen können wir erfüllen. Erstens sollten die Lehrer bereits in solchen Schulen heranwachsen. Zweitens sollte man dem Lehrer in der Auswahl des Lehrstoffs und der anzuwendenden Lehrmethode erhebliche Freiheit lassen. Denn auch auf ihn trifft es zu, daß die Freude am Aufbau seiner Arbeit durch Gewalt und äußeren Druck getötet wird.

Wenn Sie meinen Ausführungen bis hierher aufmerksam folgten, werden Sie sich wahrscheinlich über einen Punkt gewundert haben. Ich habe mich ausführlich über den Geist geäußert, in dem meiner Meinung nach die Jugend zu unterweisen ist. Aber ich habe weder etwas über die Wahl des Lehrgegenstands noch über die Lehrmethode verlauten lassen. Sollen die Sprachen oder die Naturwissenschaften den Vorrang haben?

Darauf antworte ich: Meiner Meinung nach ist das von zweitrangiger Bedeutung. Wenn ein junger Mensch seine Muskeln und seine physische Ausdauer durch gymnastische Übungen und Fußwanderungen ausgebildet hat, wird er später für jede physische Arbeit geeignet sein. Dasselbe gilt für die geistige Ausbildung und die Übung der geistigen und praktischen Geschicklichkeit. Der Witzbold hatte also nicht so unrecht, als er Bildung folgendermaßen definierte: »Bildung ist das, was übrigbleibt, wenn man alles in

der Schule Gelernte vergessen hat.« Ich bin also gar nicht darauf versessen, im Streit zwischen den Anhängern der klassischen philologisch-historischen und denen der naturwissenschaftlichen Erziehung Partei zu ergreifen.

Andererseits möchte ich aber der Vorstellung entgegen treten, daß die Schule alle jene Spezialkenntnisse und Fertigkeiten zu übermitteln hat, die man später direkt im Leben braucht. Die Erfordernisse des Lebens sind viel zu mannigfaltig, als daß eine solche Spezialausbildung möglich wäre. Davon abgesehen erscheint es mir auch unzulässig, den einzelnen wie ein totes Handwerkszeug zu behandeln. Die Schule sollte es sich immer zum Ziel setzen, den jungen Menschen als harmonische Persönlichkeit und nicht als Spezialisten zu entlassen. Das sollte meiner Meinung nach auch für technische Fachschulen gelten, deren Studenten sich einem bestimmten Beruf widmen wollen. Die Entwicklung der allgemeinen Fähigkeit zu selbständigem Denken und Urteilen sollte stets an erster Stelle stehen und nicht die Aneignung von Spezialkenntnissen. Wenn ein Mensch die Grundlagen seines Fachs beherrscht und wenn er gelernt hat, selbständig zu denken und zu arbeiten, wird er bestimmt seinen Weg finden und zudem besser imstande sein, sich dem Fortschritt und dem Wechsel anzupassen als der andere, dessen Ausbil-

dung hauptsächlich im Ansammeln von Einzelwissen bestand. Zum Schluß möchte ich nochmals betonen, daß alles, was hier in einer etwas kategorischen Form gesagt wurde, nicht mehr zu sein beansprucht als eine persönliche Meinung, die sich auf *nichts* weiter gründet als auf die persönlichen Erfahrungen, die ich als Student und Lehrer gemacht habe.

Warum Krieg?

Briefwechsel mit Sigmund Freud (1932)

Caputh, bei Potsdam, 30. Juli 1932.

Lieber Herr Freud!

Ich bin glücklich darüber, daß ich durch die Anregung des Völkerbundes und seines Internationalen Instituts für geistige Zusammenarbeit in Paris, in freiem Meinungsaustausch mit einer Person meiner Wahl ein frei gewähltes Problem zu erörtern, eine einzigartige Gelegenheit erhalte, mich mit Ihnen über diejenige Frage zu unterhalten, die mir beim gegenwärtigen Stande der Dinge als die wichtigste der Zivilisation erscheint: Gibt es einen Weg, die Menschen von dem Verhängnis des Krieges zu befreien? Die Einsicht, daß diese Frage durch die Fortschritte der Technik zu einer Existenzfrage für die zivilisierte Menschheit geworden ist, ist ziemlich allgemein durchgedrungen, und trotzdem sind die heißen Bemühungen um ihre Lösung bisher in erschreckendem Maße gescheitert.

Ich glaube, daß auch unter den mit diesem Problem praktisch und beruflich beschäftigten Menschen, aus einem gewissen Gefühl der Ohnmacht heraus, der

Wunsch lebendig ist, Personen um ihre Auffassung des Problems zu befragen, die durch ihre gewohnte wissenschaftliche Tätigkeit zu allen Fragen des Lebens eine weitgehende Distanz gewonnen haben. Was mich selber betrifft, so liefert mir die gewohnte Richtung meines Denkens keine Einblicke in die Tiefen des menschlichen Wollens und Fühlens, so daß ich bei dem hier versuchten Meinungs austausch nicht viel mehr tun kann als versuchen, die Fragestellung herauszuarbeiten und durch Vorwegnahme der mehr äußerlichen Lösungsversuche Ihnen Gelegenheit zu geben, die Frage vom Standpunkt Ihrer vertieften Kenntnis des menschlichen Trieblebens aus zu beleuchten. Ich vertraue darauf, daß Sie auf Wege der Erziehung werden hinweisen können, die auf einem gewissermaßen unpolitischen Wege psychologische Hindernisse zu beseitigen imstande sind, welche der psychologisch Ungeübte wohl ahnt, deren Zusammenhänge und Wandelbarkeit er aber nicht zu beurteilen vermag.

Weil ich selber ein von Affekten nationaler Natur freier Mensch bin, erscheint mir die äußere bzw. organisatorische Seite des Problems einfach: Die Staaten schaffen eine legislative und gerichtliche Behörde zur Schlichtung aller zwischen ihnen entstehenden Konflikte. Sie verpflichten sich, sich den von der legislativen Behörde aufgestellten Gesetzen zu unterwerfen, das Gericht in allen Streitfällen anzurufen, sich sei-

nen Entscheidungen bedingungslos zu beugen sowie alle diejenigen Maßnahmen durchzuführen, welche das Gericht für die Realisierung seiner Entscheidungen für notwendig erachtet. Hier schon stoße ich auf die erste Schwierigkeit: Ein Gericht ist eine menschliche Einrichtung, die um so mehr geneigt sein dürfte, ihre Entscheidungen außerrechtlichen Einflüssen zugänglich zu machen, je weniger Macht ihr zur Verfügung steht, ihre Entscheidungen durchzusetzen. Es ist eine Tatsache, mit der man rechnen muß: Recht und Macht sind unzertrennlich verbunden, und die Sprüche eines Rechtsorgans nähern sich um so mehr dem Gerechtigkeitsideal der Gemeinschaft, in deren Namen und Interesse Recht gesprochen wird, je mehr Machtmittel diese Gemeinschaft aufbringen kann, um die Respektierung ihres Gerechtigkeitsideals zu erzwingen. Wir sind aber zur Zeit weit davon entfernt, eine überstaatliche Organisation zu besitzen, die ihrem Gericht unbestreitbare Autorität zu verleihen und der Exekution seiner Erkenntnisse absoluten Gehorsam zu erzwingen imstande wäre. So drängt sich mir die erste Feststellung auf: Der Weg zur internationalen Sicherheit führt über den bedingungslosen Verzicht der Staaten auf einen Teil ihrer Handlungsfähigkeit bzw. Souveränität, und es dürfte unbezweifelbar sein, daß es einen anderen Weg zu dieser Sicherheit nicht gibt.

Ein Blick auf die Erfolglosigkeit der zweifellos ernst gemeinten Bemühungen der letzten Jahrzehnte, dieses Ziel zu erreichen, läßt jeden deutlich fühlen, daß mächtige psychologische Kräfte am Werke sind, die diese Bemühungen paralysieren. Einige dieser Kräfte liegen offen zutage. Das Machtbedürfnis der jeweils herrschenden Schicht eines Staates widersetzt sich einer Einschränkung der Hoheitsrechte desselben. Dieses ›politische Machtbedürfnis‹ wird häufig genährt aus einem materiell-ökonomisch sich äußernden Machtstreben einer anderen Schicht. Ich denke hier vornehmlich an die innerhalb jedes Volkes vorhandene kleine, aber entschlossene, sozialen Erwägungen und Hemmungen unzugängliche Gruppe jener Menschen, denen Krieg, Waffenherstellung und -handel nichts als eine Gelegenheit sind, persönliche Vorteile zu ziehen, den persönlichen Machtbereich zu erweitern.

Diese einfache Feststellung bedeutet aber nur einen ersten Schritt in der Erkenntnis der Zusammenhänge. Es erhebt sich sofort die Frage: Wie ist es möglich, daß die soeben genannte Minderheit die Masse des Volkes ihren Gelüsten dienstbar machen kann, die durch einen Krieg nur zu leiden und zu verlieren hat? (Wenn ich von der Masse des Volkes spreche, so schließe ich aus ihr diejenigen nicht aus, die als Soldaten aller Grade den Krieg zum Beruf gemacht ha-

ben, in der Überzeugung, daß sie der Verteidigung der höchsten Güter ihres Volkes dienen, und daß manchmal die beste Verteidigung der Angriff ist.) Hier scheint die nächstliegende Antwort zu sein: Die Minderheit der jeweils Herrschenden hat vor allem die Schule, die Presse und meistens auch die religiösen Organisationen in ihrer Hand. Durch diese Mittel beherrscht und leitet sie die Gefühle der großen Masse und macht diese zu ihrem willenlosen Werkzeug.

Aber auch diese Antwort erschöpft nicht den ganzen Zusammenhang, denn es erhebt sich die Frage: Wie ist es möglich, daß sich die Masse durch die genannten Mittel bis zur Raserei und Selbstaufopferung entflammen läßt? Die Antwort kann nur sein: Im Menschen lebt ein Bedürfnis zu hassen und zu vernichten. Diese Anlage ist in gewöhnlichen Zeiten latent vorhanden und tritt dann nur beim Abnormalen zutage; sie kann aber verhältnismäßig leicht geweckt und zur Massenpsychose gesteigert werden. Hier scheint das tiefste Problem des ganzen verhängnisvollen Wirkungskomplexes zu stecken. Hier ist die Stelle, die nur der große Kenner der menschlichen Triebe beleuchten kann.

Dies führt auf eine letzte Frage: Gibt es eine Möglichkeit, die psychische Entwicklung der Menschen so zu leiten, daß sie den Psychosen des Hasses und des

Vernichtens gegenüber widerstandsfähiger werden? Ich denke dabei keineswegs nur an die sogenannten Ungebildeten. Nach meinen Lebenserfahrungen ist es vielmehr gerade die sogenannte ›Intelligenz‹, welche den verhängnisvollen Massensuggestionen am leichtesten unterliegt, weil sie nicht unmittelbar aus dem Erleben zu schöpfen pflegt, sondern auf dem Wege über das bedruckte Papier am bequemsten und vollständigsten zu erfassen ist.

Zum Schluß noch eins: Ich habe bisher nur vom Krieg zwischen Staaten, also von sogenannten internationalen Konflikten gesprochen. Ich bin mir dessen bewußt, daß die menschliche Aggressivität sich auch in anderen Formen und unter anderen Bedingungen betätigt (z.B. Bürgerkrieg, früher aus religiösen, heute aus sozialen Ursachen heraus, Verfolgung von nationalen Minderheiten). Ich habe aber bewußt die repräsentativste und unheilvollste, weil zügelloseste Form des Konfliktes unter menschlichen Gemeinschaften hervorgehoben, weil sich an ihr vielleicht am ehesten demonstrieren läßt, wie sich kriegerische Konflikte vermeiden ließen.

Ich weiß, daß Sie in Ihren Schriften auf alle mit dem uns interessierenden, drängenden Problem zusammenhängenden Fragen teils direkt, teils indirekt geantwortet haben. Es wird aber von großem Nutzen sein, wenn Sie das Problem der Befreiung der Welt

im Lichte Ihrer neuen Erkenntnisse besonders darstellen, da von einer solchen Darstellung fruchtbare Bemühungen ausgehen können.

Freundlichst grüßt Sie
Ihr A. Einstein.

Wien, im September 1932.

Lieber Herr Einstein!

Als ich hörte, daß Sie die Absicht haben, mich zum Gedankenaustausch über ein Thema aufzufordern, dem Sie Ihr Interesse schenken und das Ihnen auch des Interesses anderer würdig erscheint, stimmte ich bereitwillig zu. Ich erwartete, Sie würden ein Problem an der Grenze des heute Wißbaren wählen, zu dem ein jeder von uns, der Physiker wie der Psychologe, sich seinen besonderen Zugang bahnen könnte, so daß sie sich von verschiedenen Seiten her auf demselben Boden trafen. Sie haben mich dann durch die Fragestellung überrascht, was man tun könnte, um das Verhängnis des Krieges von den Menschen abzuwehren. Ich erschrak zunächst unter dem Eindruck meiner – fast hätte ich gesagt: unserer – Inkompetenz, denn das erschien mir als eine praktische

Aufgabe, die den Staatsmännern zufällt. Ich verstand dann aber, daß Sie die Frage nicht als Naturforscher und Physiker erhoben haben, sondern als Menschenfreund, der den Anregungen des Völkerbunds gefolgt war, ähnlich wie der Polarforscher *Fridtjof Nansen* es auf sich genommen hatte, den Hungernden und den heimatlosen Opfern des Weltkrieges Hilfe zu bringen. Ich besann mich auch, daß mir nicht zugemutet wird, praktische Vorschläge zu machen, sondern daß ich nur angeben soll, wie sich das Problem der Kriegsverhütung einer psychologischen Betrachtung darstellt.

Aber auch hierüber haben Sie in Ihrem Schreiben das meiste gesagt. Sie haben mir gleichsam den Wind aus den Segeln genommen, aber ich fahre gern in Ihrem Kielwasser und bescheide mich damit, alles zu bestätigen, was Sie vorbringen, indem ich es nach meinem besten Wissen – oder Vermuten – breiter ausführe. Sie beginnen mit dem Verhältnis von Recht und Macht. Das ist gewiß der richtige Ausgangspunkt für unsere Untersuchung. Darf ich das Wort ›Macht‹ durch das grellere, härtere Wort ›Gewalt‹ ersetzen? Recht und Gewalt sind uns heute Gegensätze. Es ist leicht zu zeigen, daß sich das eine aus dem anderen entwickelt hat, und wenn wir auf die Uranfänge zurückgehen und nachsehen, wie das zuerst geschehen ist, so fällt uns die Lösung des Problems mühelos zu.

Entschuldigen Sie mich aber, wenn ich im Folgenden allgemein Bekanntes und Anerkanntes erzähle, als ob es neu wäre; der Zusammenhang nötigt mich dazu.

Interessenkonflikte unter den Menschen werden also prinzipiell durch die Anwendung von Gewalt entschieden. So ist es im ganzen Tierreich, von dem der Mensch sich nicht ausschließen sollte; für den Menschen kommen allerdings noch Meinungskonflikte hinzu, die bis zu den höchsten Höhen der Abstraktion reichen und eine andere Technik der Entscheidung zu fordern scheinen. Aber das ist eine spätere Komplikation. Anfänglich, in einer kleinen Menschenhorde, entschied die stärkere Muskelkraft darüber, wem etwas gehören oder wessen Wille zur Ausführung gebracht werden sollte. Muskelkraft verstärkt und ersetzt sich bald durch den Gebrauch von Werkzeugen; es siegt, wer die besseren Waffen hat oder sie geschickter verwendet. Mit der Einführung der Waffe beginnt bereits die geistige Überlegenheit die Stelle der rohen Muskelkraft einzunehmen; die Endabsicht des Kampfes bleibt die nämliche, der eine Teil soll durch die Schädigung, die er erfährt, und durch die Lähmung seiner Kräfte gezwungen werden, seinen Anspruch oder Widerspruch aufzugeben. Dies wird am gründlichsten erreicht, wenn die Gewalt den Gegner dauernd beseitigt, also tötet. Es hat zwei Vorteile, daß er seine Gegnerschaft nicht ein andermal

wieder aufnehmen kann, und daß sein Schicksal andere abschreckt, seinem Beispiel zu folgen. Außerdem befriedigt die Tötung des Feindes eine triebhafte Neigung, die später erwähnt werden muß. Der Tötungsabsicht kann sich die Erwägung widersetzen, daß der Feind zu nützlichen Dienstleistungen verwendet werden kann, wenn man ihn eingeschüchtert am Leben läßt. Dann begnügt sich also die Gewalt damit, ihn zu unterwerfen, anstatt ihn zu töten. Es ist der Anfang der Schonung des Feindes, aber der Sieger hat von nun an mit der lauernden Rachsucht des Besiegten zu rechnen, gibt ein Stück seiner eigenen Sicherheit auf.

Das ist also der ursprüngliche Zustand, die Herrschaft der größeren Macht, der rohen oder intellektuell gestützten Gewalt. Wir wissen, dies Regime ist im Laufe der Entwicklung abgeändert worden, es führte ein Weg von der Gewalt zum Recht, aber welcher? Nur ein einziger, meine ich. Er führte über die Tatsache, daß die größere Stärke des einen wettgemacht werden konnte durch die Vereinigung mehrerer Schwachen. »L'union fait la force.« Gewalt wird gebrochen durch Einigung, die Macht dieser Geeinigten stellt nun das Recht dar im Gegensatz zur Gewalt des einzelnen. Wir sehen, das Recht ist die Macht einer Gemeinschaft. Es ist noch immer Gewalt, bereit sich gegen jeden einzelnen zu wenden, der sich ihr wider-

setzt, arbeitet mit denselben Mitteln, verfolgt dieselben Zwecke; der Unterschied liegt wirklich nur darin, daß es nicht mehr die Gewalt eines einzelnen ist, die sich durchsetzt, sondern die der Gemeinschaft. Aber damit sich dieser Übergang von der Gewalt zum neuen Recht vollziehe, muß eine psychologische Bedingung erfüllt werden. Die Einigung der Mehreren muß eine beständige, dauerhafte sein. Stellte sie sich nur zum Zweck der Bekämpfung des einen Übermächtigen her und zerfiel nach seiner Überwältigung, so wäre nichts erreicht. Der nächste, der sich für stärker hält, würde wiederum eine Gewaltherrschaft anstreben, und das Spiel würde sich endlos wiederholen. Die Gemeinschaft muß permanent erhalten werden, sich organisieren, Vorschriften schaffen, die den gefürchteten Auflehnungen vorbeugen, Organe bestimmen, die über die Einhaltung der Vorschriften – Gesetze – wachen und die Ausführung der rechtmäßigen Gewaltakte besorgen. In der Anerkennung einer solchen Interessengemeinschaft stellen sich unter den Mitgliedern einer geeigneten Menschengruppe Gefühlsbindungen her, Gemeinschaftsgefühle, in denen ihre eigentliche Stärke beruht.

Damit, denke ich, ist alles Wesentliche bereits gegeben: die Überwindung der Gewalt durch Übertragung der Macht an eine größere Einheit, die durch Gefühlsbindungen ihrer Mitglieder zusammengehal-

ten wird. Alles Weitere sind Ausführungen und Wiederholungen. Die Verhältnisse sind einfach, solange die Gemeinschaft nur aus einer Anzahl gleichstarker Individuen besteht. Die Gesetze dieser Vereinigung bestimmen dann, auf welches Maß von persönlicher Freiheit, seine Kraft als Gewalt anzuwenden, der einzelne verzichten muß, um ein gesichertes Zusammenleben zu ermöglichen. Aber ein solcher Ruhezustand ist nur theoretisch denkbar, in Wirklichkeit kompliziert sich der Sachverhalt dadurch, daß die Gemeinschaft von Anfang an ungleich mächtige Elemente umfaßt, Männer und Frauen, Eltern und Kinder, und bald infolge von Krieg und Unterwerfung Siegreiche und Besiegte, die sich in Herren und Sklaven umsetzen. Das Recht der Gemeinschaft wird dann zum Ausdruck der ungleichen Machtverhältnisse in ihrer Mitte, die Gesetze werden von und für die Herrschenden gemacht werden und den Unterworfenen wenig Rechte einräumen. Von da an gibt es in der Gemeinschaft zwei Quellen von Rechtsunruhe, aber auch von Rechtsfortbildung. Erstens die Versuche einzelner unter den Herren, sich über die für alle gültigen Einschränkungen zu erheben, also von der Rechtsherrschaft auf die Gewaltherrschaft zurückzugreifen, zweitens die ständigen Bestrebungen der Unterdrückten, sich mehr Macht zu verschaffen und diese Änderungen im Gesetz anerkannt zu se-

hen, also im Gegenteil vom ungleichen Recht zum gleichen Recht für alle vorzudringen. Diese letzte Strömung wird besonders bedeutsam werden, wenn sich im Inneren des Gemeinwesens wirklich Verschiebungen der Machtverhältnisse ergeben, wie es infolge mannigfacher historischer Momente geschehen kann. Das Recht kann sich dann allmählich den neuen Machtverhältnissen anpassen, oder, was häufiger geschieht, die herrschende Klasse ist nicht bereit, dieser Änderung Rechnung zu tragen, es kommt zu Auflehnung, Bürgerkrieg, also zur zeitweiligen Aufhebung des Rechts und zu neuen Gewaltproben, nach deren Ausgang eine neue Rechtsordnung eingesetzt wird. Es gibt noch eine andere Quelle der Rechtsänderung, die sich nur in friedlicher Weise äußert, das ist die kulturelle Wandlung der Mitglieder des Gemeinwesens, aber die gehört in einen Zusammenhang, der erst später berücksichtigt werden kann.

Wir sehen also, auch innerhalb eines Gemeinwesens ist die gewaltsame Erledigung von Interessenkonflikten nicht vermieden worden. Aber die Notwendigkeiten und Gemeinsamkeiten, die sich aus dem Zusammenleben auf demselben Boden ableiten, sind einer raschen Beendigung solcher Kämpfe günstig, und die Wahrscheinlichkeit friedlicher Lösungen unter diesen Bedingungen nimmt stetig zu. Ein Blick in die Menschheitsgeschichte zeigt uns aber

eine unaufhörliche Reihe von Konflikten zwischen einem Gemeinwesen und einem oder mehreren anderen, zwischen größeren und kleineren Einheiten, Stadtgebieten, Landschaften, Stämmen, Völkern, Reichen, die fast immer durch die Kraftprobe des Krieges entschieden werden. Solche Kriege gehen entweder in Beraubung oder in volle Unterwerfung, Eroberung des einen Teils, aus. Man kann die Eroberungskriege nicht einheitlich beurteilen. Manche wie die der Mongolen und Türken haben nur Unheil gebracht, andere im Gegenteil zur Umwandlung von Gewalt in Recht beigetragen, indem sie größere Einheiten herstellten, innerhalb deren nun die Möglichkeit der Gewaltanwendung aufgehört hatte und eine neue Rechtsordnung die Konflikte schlichtete. So haben die Eroberungen der Römer den Mittelmeerlandern die kostbare *pax romana* gegeben. Die Vergrößerungslust der französischen Könige hat ein friedlich geeinigtes, blühendes Frankreich geschaffen. So paradox es klingt, man muß doch zugestehen, der Krieg wäre kein ungeeignetes Mittel zur Herstellung des ersehnten »ewigen« Friedens, weil er imstande ist, jene großen Einheiten zu schaffen, innerhalb deren eine starke Zentralgewalt weitere Kriege unmöglich macht. Aber er taugt doch nicht dazu, denn die Erfolge der Eroberung sind in der Regel nicht dauerhaft; die neu geschaffenen Einheiten zerfallen

wieder, meist infolge des mangelnden Zusammenhalts der gewaltsam geeinigten Teile. Und außerdem konnte die Eroberung bisher nur partielle Einigungen, wenn auch von größerem Umfang, schaffen, deren Konflikte die gewaltsame Entscheidung erst recht herausforderten. So ergab sich als die Folge all dieser kriegesischen Anstrengungen nur, daß die Menschheit zahlreiche, ja unaufhörliche Kleinkriege gegen seltene, aber um so mehr verheerende Großkriege eintauschte.

Auf unsere Gegenwart angewendet, ergibt sich das gleiche Resultat, zu dem Sie auf kürzerem Weg gelangt sind. Eine sichere Verhütung der Kriege ist nur möglich, wenn sich die Menschen zur Einsetzung einer Zentralgewalt einigen, welcher der Richtspruch in allen Interessenkonflikten übertragen wird. Hier sind offenbar zwei Forderungen vereinigt, daß eine solche übergeordnete Instanz geschaffen und daß ihr die erforderliche Macht gegeben werde. Das eine allein würde nicht nützen. Nun ist der Völkerbund als solche Instanz gedacht, aber die andere Bedingung ist nicht erfüllt; der Völkerbund hat keine eigene Macht und kann sie nur bekommen, wenn die Mitglieder der neuen Einigung, die einzelnen Staaten, sie ihm abtreten. Dazu scheint aber derzeit wenig Aussicht vorhanden. Man stünde der Institution des Völkerbundes nun ganz ohne Verständnis gegenüber, wenn

man nicht wüßte, daß hier ein Versuch vorliegt, der in der Geschichte der Menschheit nicht oft – vielleicht noch nie in diesem Maß – gewagt worden ist. Es ist der Versuch, die Autorität – d.i. den zwingenden Einfluß –, die sonst auf dem Besitz der Macht ruht, durch die Berufung auf bestimmte ideelle Einstellungen zu erwerben. Wir haben gehört, was eine Gemeinschaft zusammenhält, sind zwei Dinge: der Zwang der Gewalt und die Gefühlsbindungen – Identifizierungen heißt man sie technisch – der Mitglieder. Fällt das eine Moment weg, so kann möglicherweise das andere die Gemeinschaft aufrechterhalten. Jene Ideen haben natürlich nur dann eine Bedeutung, wenn sie wichtigen Gemeinsamkeiten der Mitglieder Ausdruck geben. Es fragt sich dann, wie stark sie sind. Die Geschichte lehrt, daß sie in der Tat ihre Wirkung geübt haben. Die panhellenische Idee z. B., das Bewußtsein, daß man etwas Besseres sei als die umwohnenden Barbaren, das in den Amphiktyonien, den Orakeln und Festspielen so kräftigen Ausdruck fand, war stark genug, um die Sitten der Kriegsführung unter Griechen zu mildern, aber selbstverständlich nicht imstande, kriegerische Streitigkeiten zwischen den Partikeln des Griechenvolkes zu verhüten, ja nicht einmal um eine Stadt oder einen Städtebund abzuhalten, sich zum Schaden eines Rivalen mit dem Perserfeind zu verbünden. Ebensowenig hat das

christliche Gemeingefühl, das doch mächtig genug war, im Renaissancezeitalter christliche Klein- und Großstaaten daran gehindert, in ihren Kriegen miteinander um die Hilfe des Sultans zu werben. Auch in unserer Zeit gibt es keine Idee, der man eine solche einigende Autorität zumuten könnte. Daß die heute die Völker beherrschenden nationalen Ideale zu einer gegenteiligen Wirkung drängen, ist ja allzu deutlich. Es gibt Personen, die vorhersagen, erst das allgemeine Durchdringen der bolschewistischen Denkart werde den Kriegen ein Ende machen können, aber von solchem Ziel sind wir heute jedenfalls weit entfernt, und vielleicht wäre es nur nach schrecklichen Bürgerkriegen erreichbar. So scheint es also, daß der Versuch, reale Macht durch die Macht der Ideen zu ersetzen, heute noch zum Fehlschlagen verurteilt ist. Es ist ein Fehler in der Rechnung, wenn man nicht berücksichtigt, daß Recht ursprünglich rohe Gewalt war und noch heute der Stützung durch die Gewalt nicht entbehren kann.

Ich kann nun darangehen, einen anderen Ihrer Sätze zu glossieren. Sie verwundern sich darüber, daß es so leicht ist, die Menschen für den Krieg zu begeistern, und vermuten, daß etwas in ihnen wirksam ist, ein Trieb zum Hassen und Vernichten, der solcher Verhetzung entgegenkommt. Wiederum kann ich Ihnen nur uneingeschränkt beistimmen. Wir glauben

an die Existenz eines solchen Triebes und haben uns gerade in den letzten Jahren bemüht, seine Äußerungen zu studieren. Darf ich Ihnen aus diesem Anlaß ein Stück der Triblehre vortragen, zu der wir in der Psychoanalyse nach vielem Tasten und Schwanken gekommen sind? Wir nehmen an, daß die Triebe des Menschen nur von zweierlei Art sind, entweder solche, die erhalten und vereinigen wollen – wir heißen sie erotische, ganz im Sinne des Eros im Symposion *Plato's*, oder sexuelle mit bewußter Überdehnung des populären Begriffs von Sexualität –, und andere, die zerstören und töten wollen; wir fassen diese als Aggressionstrieb oder Destruktionstrieb zusammen. Sie sehen, das ist eigentlich nur die theoretische Verklärung des weltbekannten Gegensatzes von Lieben und Hassen, der vielleicht zu der Polarität von Anziehung und Abstoßung eine Urbeziehung unterhält, die auf Ihrem Gebiet eine Rolle spielt. Nun lassen Sie uns nicht zu rasch mit den Wertungen von Gut und Böse einsetzen. Der eine dieser Triebe ist ebenso unerlässlich wie der andere, aus dem Zusammen- und Gegeneinanderwirken der beiden gehen die Erscheinungen des Lebens hervor. Nun scheint es, daß kaum jemals ein Trieb der einen Art sich isoliert betätigen kann, er ist immer mit einem gewissen Betrag von der anderen Seite verbunden, wie wir sagen: legiert, der sein Ziel modifiziert oder ihm unter Umständen dessen

Erreichung erst möglich macht. So ist z. B. der Selbsterhaltungstrieb gewiß erotischer Natur, aber gerade er bedarf der Verfügung über die Aggression, wenn er seine Absicht durchsetzen soll. Ebenso benötigt der auf Objekte gerichtete Liebestrieb eines Zusatzes vom Bemächtigungstrieb, wenn er seines Objekts überhaupt habhaft werden soll. Die Schwierigkeit, die beiden Triebarten in ihren Äußerungen zu isolieren, hat uns ja so lange in ihrer Erkenntnis behindert.

Wenn Sie mit mir ein Stück weitergehen wollen, so hören Sie, daß die menschlichen Handlungen noch eine Komplikation von anderer Art erkennen lassen. Ganz selten ist die Handlung das Werk einer einzigen Triebregung, die an und für sich bereits aus Eros und Destruktion zusammengesetzt sein muß. In der Regel müssen mehrere in der gleichen Weise aufgebaute Motive zusammentreffen, um die Handlung zu ermöglichen. Einer Ihrer Fachgenossen hat das bereits gewußt, ein Prof. *G. Ch. Lichtenberg*, der zur Zeit unserer Klassiker in Göttingen Physik lehrte; aber vielleicht war er als Psychologe noch bedeutender denn als Physiker. Er erfand die Motivenrose, indem er sagte: »Die Bewegungsgründe, woraus man etwas tut, können so wie die 32 Winde geordnet und ihre Namen auf eine ähnliche Art formiert werden, z.B. Brot – Brot – Ruhm oder Ruhm – Ruhm – Brot.« Wenn also die Menschen zum Krieg aufgefordert werden,

so mögen eine ganze Anzahl von Motiven in ihnen zustimmend antworten, edle und gemeine, solche, von denen man laut spricht, und andere, die man verschweigt. Wir haben keinen Anlaß, sie alle bloßzulegen. Die Lust an der Aggression und Destruktion ist gewiß darunter; ungezählte Grausamkeiten der Geschichte und des Alltags bekräftigen ihre Existenz und ihre Stärke. Die Verquickung dieser destruktiven Strebungen mit anderen erotischen und ideellen erleichtert natürlich deren Befriedigung. Manchmal haben wir, wenn wir von den Greueln der Geschichte hören, den Eindruck, die ideellen Motive hätten den destruktiven Gelüsten nur als Vorwände gedient, andere Male, z. B. bei den Grausamkeiten der hl. Inquisition, meinen wir, die ideellen Motive hätten sich im Bewußtsein vorgedrängt, die destruktiven ihnen eine unbewußte Verstärkung gebracht. Beides ist möglich.

Ich habe Bedenken, Ihr Interesse zu mißbrauchen, das ja der Kriegsverhütung gilt, nicht unseren Theorien. Doch möchte ich noch einen Augenblick bei unserem Destruktionstrieb verweilen, dessen Beliebtheit keineswegs Schritt hält mit seiner Bedeutung. Mit etwas Aufwand von Spekulation sind wir nämlich zu der Auffassung gelangt, daß dieser Trieb innerhalb jedes lebenden Wesens arbeitet und dann das Bestreben hat, es zum Zerfall zu bringen, das Leben

zum Zustand der unbelebten Materie zurückzuführen. Er verdiente in allem Ernst den Namen eines Todestriebes, während die erotischen Triebe die Bestrebungen zum Leben repräsentieren. Der Todestrieb wird zum Destruktionstrieb, indem er mit Hilfe besonderer Organe nach außen, gegen die Objekte, gewendet wird. Das Lebewesen bewahrt sozusagen sein eigenes Leben dadurch, daß es fremdes zerstört. Ein Anteil des Todestriebes verbleibt aber im Innern des Lebewesens tätig, und wir haben versucht, eine ganze Anzahl von normalen und pathologischen Phänomenen von dieser Verinnerlichung des Destruktionstriebes abzuleiten. Wir haben sogar die Ketzerei begangen, die Entstehung unseres Gewissens durch eine solche Wendung der Aggression nach innen zu erklären. Sie merken, es ist gar nicht so unbedenklich, wenn sich dieser Vorgang in allzu großem Ausmaß vollzieht, es ist direkt ungesund, während die Wendung dieser Triebkräfte zur Destruktion in der Außenwelt das Lebewesen entlastet, wohltuend wirken muß. Das diene zur biologischen Entschuldigung all der häßlichen und gefährlichen Strebungen, gegen die wir ankämpfen. Man muß zugeben, sie sind der Natur näher als unser Widerstand dagegen, für den wir auch noch eine Erklärung finden müssen. Vielleicht haben Sie den Eindruck, unsere Theorien seien eine Art von Mythologie, nicht einmal eine erfreu-

liche in diesem Fall. Aber läuft nicht jede Naturwissenschaft auf eine solche Art von Mythologie hinaus? Geht es Ihnen heute in der Physik anders? Aus dem Vorstehenden entnehmen wir für unsere nächsten Zwecke soviel, daß es keine Aussicht hat, die aggressiven Neigungen der Menschen abschaffen zu wollen. Es soll in glücklichen Gegenden der Erde, wo die Natur alles, was der Mensch braucht, überreichlich zur Verfügung stellt, Völkerstämme geben, deren Leben in Sanftmut verläuft, bei denen Zwang und Aggression unbekannt sind. Ich kann es kaum glauben, möchte gern mehr über diese Glücklichen erfahren. Auch die Bolschewisten hoffen, daß sie die menschliche Aggression zum Verschwinden bringen können dadurch, daß sie die Befriedigung der materiellen Bedürfnisse verbürgen und sonst Gleichheit unter den Teilnehmern an der Gemeinschaft herstellen. Ich halte das für eine Illusion. Vorläufig sind sie auf das sorgfältigste bewaffnet und halten ihre Anhänger nicht zum mindesten durch den Haß gegen alle Außenstehenden zusammen. Übrigens handelt es sich, wie Sie selbst bemerken, nicht darum, die menschliche Aggressionsneigung völlig zu beseitigen; man kann versuchen, sie soweit abzulenken, daß sie nicht ihren Ausdruck im Krieg finden muß.

Von unserer mythologischen Trieblehre her finden wir leicht eine Formel für die indirekten Wege

zur Bekämpfung des Krieges. Wenn die Bereitwilligkeit zum Krieg ein Ausfluß des Destruktionstriebes ist, so liegt es nahe, gegen sie den Gegenspieler dieses Triebes, den Eros, anzurufen. Alles, was Gefühlsbindungen unter den Menschen herstellt, muß dem Krieg entgegenwirken. Diese Bindungen können von zweierlei Art sein. Erstens Beziehungen wie zu einem Liebesobjekt, wenn auch ohne sexuelle Ziele. Die Psychoanalyse braucht sich nicht zu schämen, wenn sie hier von Liebe spricht, denn die Religion sagt dasselbe: Liebe deinen Nächsten wie Dich selbst. Das ist nun leicht gefordert, aber schwer zu erfüllen. Die andere Art von Gefühlsbindung ist die durch Identifizierung. Alles was bedeutsame Gemeinsamkeiten unter den Menschen herstellt, ruft solche Gemeingefühle, Identifizierungen, hervor. Auf ihnen ruht zum guten Teil der Aufbau der menschlichen Gesellschaft.

Einer Klage von Ihnen über den Mißbrauch der Autorität entnehme ich einen zweiten Wink zur indirekten Bekämpfung der Kriegsneigung. Es ist ein Stück der angeborenen und nicht zu beseitigenden Ungleichheit der Menschen, daß sie in Führer und in Abhängige zerfallen. Die letzteren sind die übergroße Mehrheit, sie bedürfen einer Autorität, welche für sie Entscheidungen fällt, denen sie sich meist bedingungslos unterwerfen. Hier wäre anzuknüpfen, man müßte mehr Sorge als bisher aufwenden, um eine

Oberschicht selbständig denkender, der Einschüchterung unzugänglicher, nach Wahrheit ringender Menschen zu erziehen, denen die Lenkung der unselbständigen Massen zufallen würde. Daß die Übergriffe der Staatsgewalten und das Denkverbot der Kirche einer solchen Aufzucht nicht günstig sind, bedarf keines Beweises. Der ideale Zustand wäre natürlich eine Gemeinschaft von Menschen, die ihr Triebleben der Diktatur der Vernunft unterworfen haben. Nichts anderes könnte eine vollkommene und widerstandsfähige Einigung der Menschen hervorrufen, selbst unter Verzicht auf die Gefühlsbindungen zwischen ihnen. Aber das ist höchstwahrscheinlich eine utopische Hoffnung. Die anderen Wege einer indirekten Verhinderung des Krieges sind gewiß eher gangbar, aber sie versprechen keinen raschen Erfolg. Ungern denkt man an Mühlen, die so langsam mahlen, daß man verhungern könnte, ehe man das Mehl bekommt.

Sie sehen, es kommt nicht viel dabei heraus, wenn man bei dringenden praktischen Aufgaben den weltfremden Theoretiker zu Rate zieht. Besser, man bemüht sich in jedem einzelnen Fall, der Gefahr zu begegnen mit den Mitteln, die eben zur Hand sind. Ich möchte aber noch eine Frage behandeln, die Sie in Ihrem Schreiben nicht aufwerfen und die mich besonders interessiert. Warum empören wir uns so sehr

gegen den Krieg, Sie und ich und so viele andere, warum nehmen wir ihn nicht hin wie eine andere der vielen peinlichen Notlagen des Lebens? Er scheint doch naturgemäß, biologisch wohl begründet, praktisch kaum vermeidbar. Entsetzen Sie sich nicht über meine Fragestellung. Zum Zweck einer Untersuchung darf man vielleicht die Maske einer Überlegenheit vornehmen, über die man in Wirklichkeit nicht verfügt. Die Antwort wird lauten, weil jeder Mensch ein Recht auf sein eigenes Leben hat, weil der Krieg hoffnungsvolle Menschenleben vernichtet, den einzelnen Menschen in Lagen bringt, die ihn entwürdigen, ihn zwingt, andere zu morden, was er nicht will, kostbare materielle Werte, Ergebnis von Menschenarbeit, zerstört, u. a. mehr. Auch daß Krieg in seiner gegenwärtigen Gestaltung keine Gelegenheit mehr gibt, das alte heldische Ideal zu erfüllen, und daß ein zukünftiger Krieg infolge der Vervollkommnung der Zerstörungsmittel die Ausrottung eines oder vielleicht beider Gegner bedeuten würde. Das ist alles wahr und scheint so unbestreitbar, daß man sich nur verwundert, wenn das Kriegführen noch nicht durch allgemeine menschliche Übereinkunft verworfen worden ist. Man kann zwar über einzelne dieser Punkte diskutieren. Es ist fraglich, ob die Gemeinschaft nicht auch ein Recht auf das Leben des einzelnen haben soll; man kann nicht alle Arten von Krieg in gleichem

Maß verdammen; solange es Reiche und Nationen gibt, die zur rücksichtslosen Vernichtung anderer bereit sind, müssen diese anderen zum Krieg gerüstet sein. Aber wir wollen über all das rasch hinweggehen, das ist nicht die Diskussion, zu der Sie mich aufgefordert haben. Ich ziele auf etwas anderes hin; ich glaube, der Hauptgrund, weshalb wir uns gegen den Krieg empören, ist, daß wir nicht anders können. Wir sind Pazifisten, weil wir es aus organischen Gründen sein müssen. Wir haben es dann leicht, unsere Einstellung durch Argumente zu rechtfertigen.

Das ist wohl ohne Erklärung nicht zu verstehen. Ich meine das Folgende: Seit unvordenklichen Zeiten zieht sich über die Menschheit der Prozeß der Kultur-entwicklung hin. (Ich weiß, andere heißen in lieber: Zivilisation.) Diesem Prozeß verdanken wir das beste, was wir geworden sind, und ein gut Teil von dem, woran wir leiden. Seine Anlässe und Anfänge sind dunkel, sein Ausgang ungewiß, einige seiner Charaktere leicht ersichtlich. Vielleicht führt er zum Erlöschen der Menschenart, denn er beeinträchtigt die Sexualfunktion in mehr als einer Weise, und schon heute vermehren sich unkultivierte Rassen und zurückgebliebene Schichten der Bevölkerung stärker als hochkultivierte. Vielleicht ist dieser Prozeß mit der Domestikation gewisser Tierarten vergleichbar; ohne Zweifel bringt er körperliche Veränderun-

gen mit sich; man hat sich noch nicht mit der Vorstellung vertraut gemacht, daß die Kulturentwicklung ein solcher organischer Prozeß sei. Die mit dem Kulturprozeß einhergehenden psychischen Veränderungen sind auffällig und unzweideutig. Sie bestehen in einer fortschreitenden Verschiebung der Triebziele und Einschränkung der Triebregungen. Sensationen, die unseren Vorahnen lustvoll waren, sind für uns indifferent oder selbst unleidlich geworden; es hat organische Begründungen, wenn unsere ethischen und ästhetischen Idealforderungen sich geändert haben. Von den psychologischen Charakteren der Kultur scheinen zwei die wichtigsten: die Erstarkung des Intellekts, der das Triebleben zu beherrschen beginnt, und die Verinnerlichung der Aggressionsneigung mit all ihren vorteilhaften und gefährlichen Folgen. Den psychischen Einstellungen, die uns der Kulturprozeß aufnötigt, widerspricht nun der Krieg in der grellsten Weise, darum müssen wir uns gegen ihn empören, wir vertragen ihn einfach nicht mehr, es ist nicht bloß eine intellektuelle und affektive Ablehnung, es ist bei uns Pazifisten eine konstitutionelle Intoleranz, eine Idiosynkrasie gleichsam in äußerster Vergrößerung. Und zwar scheint es, daß die ästhetischen Erniedrigungen des Krieges nicht viel weniger Anteil an unserer Auflehnung haben als seine Grausamkeiten.

Wie lange müssen wir nun warten, bis auch die anderen Pazifisten werden? Es ist nicht zu sagen, aber vielleicht ist es keine utopische Hoffnung, daß der Einfluß dieser beiden Momente, der kulturellen Einstellung und der berechtigten Angst vor den Wirkungen eines Zukunftskrieges, dem Kriegführen in absehbarer Zeit ein Ende setzen wird. Auf welchen Wegen oder Umwegen, können wir nicht erraten. Unterdes dürfen wir uns sagen: Alles, was die Kultur-entwicklung fördert, arbeitet auch gegen den Krieg.

Ich grüße Sie herzlich und bitte Sie um Verzeihung, wenn meine Ausführungen Sie enttäuscht haben.

Ihr
Sigm. Freud.

WISSENSCHAFT

Motive des Forschens

Ansprache, gehalten am 26. April 1918 in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft anlässlich des sechzigsten Geburtstages von Max Planck

Ein vielgestaltiger Bau ist er, der Tempel der Wissenschaft. Gar verschieden sind die darin wandelnden Menschen und die seelischen Kräfte, welche sie dem Tempel zugeführt haben. Gar mancher befaßt sich mit Wissenschaft im freudigen Gefühl seiner überlegenen Geisteskraft; ihm ist die Wissenschaft der ihm gemäße Sport, der kraftvolles Erleben und Befriedigung des Ehrgeizes bringen soll; gar viele sind auch im Tempel zu finden, die nur um utilitaristischer Ziele willen hier ihr Opfer an Gehirnschmalz darbringen. Käme nun ein Engel Gottes und vertriebe alle die Menschen aus dem Tempel, welche zu diesen beiden Kategorien gehören, so würde er bedenklich geleert, aber es blieben doch noch Männer aus der Jetzt- und Vorzeit im Tempel drinnen. Zu diesen gehört unser Planck, und darum lieben wir ihn.

Ich weiß wohl, daß wir da soeben viele wertvolle Männer leichten Herzens im Geiste vertrieben haben, die den Tempel der Wissenschaft zum großen, vielleicht zum größten Teile gebaut haben; bei vielen

auch würde unserm Engel die Entscheidung ziemlich sauer werden. Aber eines scheint mir sicher: Gäbe es nur Menschen von der soeben vertriebenen Sorte, so hätte der Tempel nicht entstehen können, so wenig als ein Wald wachsen kann, der nur aus Schlingpflanzen besteht. Diesen Menschen genügt eigentlich jeder Tummelplatz menschlicher Tätigkeit; ob sie Ingenieure, Offiziere, Kaufleute oder Wissenschaftler werden, hängt von äußeren Umständen ab.

Wenden wir aber unsere Blicke wieder denen zu, die vor dem Engel Gnade gefunden haben! Etwas sonderbare, verschlossene, einsame Kerle sind es zu meist, die einander trotz dieser Gemeinsamkeiten eigentlich weniger ähnlich sind als die aus der Schar der Vertriebenen. Was hat sie in den Tempel geführt? Die Antwort ist nicht leicht zu geben und kann gewiß auch nicht einheitlich ausfallen. Zunächst glaube ich mit Schopenhauer, daß eines der stärksten Motive, die zu Kunst und Wissenschaft hinführen, eine Flucht ist aus dem Alltagsleben mit seiner schmerzlichen Rauheit und trostlosen Öde, aus den Fesseln der ewig wechselnden eigenen Wünsche. Es treibt den feiner Besaiteten aus dem persönlichen Dasein heraus in die Welt des objektiven Schauens und Verstehens; es ist dies Motiv mit der Sehnsucht vergleichbar, die den Städter aus seiner geräuschvollen, unübersichtlichen Umgebung nach der stillen Hoch-

gebirgslandschaft unwiderstehlich hinzieht, wo der weite Blick durch die stille, reine Luft gleitet und sich ruhigen Linien anschmiegt, die für die Ewigkeit geschaffen scheinen. Zu diesem negativen Motiv aber gesellt sich ein positives. Der Mensch sucht in ihm irgendwie adäquater Weise ein vereinfachtes und übersichtliches Bild der Welt zu gestalten und so die Welt des Erlebens zu überwinden, indem er sie bis zu einem gewissen Grade durch dies Bild zu ersetzen strebt. Dies tut der Maler, der Dichter, der spekulative Philosoph und der Naturforscher, jeder in seiner Weise. In dieses Bild und seine Gestaltung verlegt er den Schwerpunkt seines Gefühlslebens, um so Ruhe und Festigkeit zu suchen, die er im allzu engen Kreise des wirbelnden persönlichen Erlebens nicht finden kann.

Was für eine Stellung nimmt das Weltbild des theoretischen Physikers unter all diesen möglichen Bildern der Welt ein? Es stellt die höchsten Anforderungen an die Straffheit und Exaktheit der Darstellung der Zusammenhänge, wie sie nur die Benutzung der mathematischen Sprache verleiht. Aber dafür muß sich der Physiker stofflich um so mehr bescheiden, indem er sich damit begnügen muß, die allereinfachsten Vorgänge abzubilden, die unserem Erleben zugänglich gemacht werden können, während alle komplexeren Vorgänge nicht mit jener subtilen

Genauigkeit und Konsequenz, wie sie der theoretische Physiker fordert, durch den menschlichen Geist nachkonstruiert werden können. Höchste Reinheit, Klarheit und Sicherheit auf Kosten der Vollständigkeit. Was kann es aber für einen Reiz haben, einen so kleinen Ausschnitt der Natur genau zu erfassen, alles Feinere und Komplexere aber scheu und mutlos beiseite zu lassen? Verdient das Ergebnis einer so resignierten Bemühung den stolzen Namen ›Weltbild‹?

Ich glaube, der stolze Name ist wohlverdient, denn die allgemeinsten Gesetze, auf welche das Gedankengebäude der theoretischen Physik gegründet ist, erheben den Anspruch, für jegliches Naturgeschehen gültig zu sein. Aus ihnen sollte sich auf dem Wege reiner gedanklicher Deduktion die Abbildung, d.h. die Theorie eines jeden Naturprozesses einschließlich der Lebensvorgänge finden lassen, wenn jener Prozeß der Deduktion nicht weit über die Leistungsfähigkeit menschlichen Denkens hinausginge. Der Verzicht des physikalischen Weltbildes auf Vollständigkeit ist also kein prinzipieller.

Höchste Aufgabe des Physikers ist also das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist. Zu diesen elementaren Gesetzen führt kein logischer Weg, sondern nur die auf Einfühlung in die Erfahrung sich stützende Intuition. Bei dieser Unsi-

cherheit der Methodik könnte man denken, daß beliebig viele, an sich gleich berechnete Systeme der theoretischen Physik möglich wären; diese Meinung ist auch *prinzipiell* gewiß zutreffend. Aber die Entwicklung hat gezeigt, daß von den denkbaren theoretischen Konstruktionen eine einzige jeweiligen sich als unbedingt überlegen über alle anderen erweist. Keiner, der sich in den Gegenstand wirklich vertieft hat, wird leugnen, daß die Welt der Wahrnehmungen das theoretische System praktisch eindeutig bestimmt, trotzdem kein logischer Weg von den Wahrnehmungen zu den Grundsätzen der Theorie führt.

Noch mehr: Dies der Erfahrungswelt eindeutig zugeordnete Begriffssystem ist auf wenige Grundgesetze reduzierbar; aus denen das ganze System logisch entwickelt werden kann. Der Forscher sieht bei jedem neuen wichtigen Fortschritt seine Erwartungen übertroffen, indem jene Grundgesetze sich unter dem Druck der Erfahrung mehr und mehr vereinfachen. Mit Staunen sieht er das scheinbare Chaos in eine sublimale Ordnung gefügt, die nicht auf das Walten des eigenen Geistes, sondern auf die Beschaffenheit der Erfahrungswelt zurückzuführen ist; dies ist es, was Leibniz so glücklich als ›prästabilierte Harmonie‹ bezeichnete. Diesen Umstand nicht genügend zu würdigen, wird von den Physikern manchem Erkenntnistheoretiker zum schweren Vorwurf gemacht.

Hierin scheinen mir auch die Wurzeln der vor einigen Jahren zwischen Mach und Planck geführten Polemik zu liegen.

Die Sehnsucht nach dem Schauen jener prästabilierten Harmonie ist die Quelle der unerschöpflichen Ausdauer und Geduld, mit der wir Planck den allgemeinsten Problemen unserer Wissenschaft sich hingeben sehen, ohne sich durch dankbarere und leichter erreichbare Ziele ablenken zu lassen. Ich habe oft gehört, daß Fachgenossen dies Verhalten auf außergewöhnliche Willenskraft und Disziplin zurückführen wollten; wie ich glaube, ganz mit Unrecht. Der Gefühlszustand, der zu solchen Leistungen befähigt; ist dem des Religiösen oder Verliebten ähnlich: Das tägliche Streben entspringt keinem Vorsatz oder Programm, sondern einem unmittelbaren Bedürfnis. Hier sitzt er, unser lieber Planck, und lächelt über dies mein kindliches Hantieren mit der Laterne des Diogenes. Unsere Sympathie für ihn bedarf keiner fadenscheinigen Begründung. Möge die Liebe zur Wissenschaft auch in Zukunft seinen Lebensweg verschönern und ihn zu der Lösung des von ihm selbst gestellten und mächtig geförderten wichtigsten physikalischen Problems der Gegenwart führen. Möge es ihm gelingen, die Quantentheorie mit der Elektrodynamik und Mechanik zu einem logisch einheitlichen System zu vereinigen.

Die Entwicklung der mechanistischen Auffassung (1938)

Die große Detektivgeschichte

Wir können uns eine vollkommene Detektivgeschichte vorstellen. Eine solche Geschichte liefert alle wesentlichen Schlüssel und treibt uns dazu an, eine eigene Theorie des Falles aufzustellen. Wenn wir der Handlung sorgfältig folgen, kommen wir zu einer eigenen Lösung gerade kurz vor der Enthüllung durch den Autor am Ende des Buches. Die richtige Lösung wird uns im Gegensatz zu solchen minderwertiger Detektivgeschichten nicht enttäuschen; ja mehr noch, sie erscheint gerade in dem Augenblick, wo wir sie erwarten. Können wir den Leser eines solchen Buches mit den Wissenschaftlern vergleichen, die durch Jahrhunderte hindurch fortfahren, die Lösungen des geheimnisvollen Buches der Natur zu suchen? Der Vergleich ist falsch und muß später aufgegeben werden, aber er ist nicht gänzlich aus der Luft gegriffen und mag ausgedehnt und modifiziert werden, um ihn dem Bemühen der Wissenschaft, das Rätsel der Natur zu lösen, besser anzupassen.

Diese große Detektivgeschichte ist noch nicht gelöst. Wir können nicht einmal sicher sein, ob sie eine

endgültige Lösung besitzt. Das Lesen hat uns bereits viel zugetragen; es hat uns die Anfangsgründe der Sprache der Natur gelehrt; es hat uns befähigt, viele der Schlüssel zu verstehen, und ist häufig eine Quelle der Freude und Begeisterung während des mühsamen und schmerzvollen Fortschrittes der Wissenschaft gewesen. Aber wir sehen wohl ein, daß wir trotz aller gelesenen und verstandenen Bände noch weit von einer vollständigen Lösung entfernt sind, falls eine solche überhaupt existiert. Bei jeder Phase versuchen wir eine Erklärung zu finden, die mit den bereits gefundenen Schlüsseln vereinbar ist. Versuchsweise akzeptierte Theorien haben viele der Tatsachen erklärt, aber noch ist keine allgemeine Lösung aufgestellt worden, die mit allen bekannten Schlüsseln kompatibel wäre. Sehr häufig hat sich eine scheinbar vorzügliche Theorie beim weiteren Lesen als unzulänglich herausgestellt. Neue Tatsachen erscheinen, die mit der Theorie nicht verträglich sind, oder die durch die Theorie unerklärt bleiben. Je mehr wir lesen, desto besser verstehen wir die vorzügliche Konstruktion des Buches, selbst wenn sogar die vollständige Lösung weiter zurückzuweichen scheint, je weiter wir vordringen.

In fast jedem Detektivroman seit den vortrefflichen Geschichten von Conan Doyle tritt ein Moment ein, wo der Leser alle Tatsachen gesammelt hat, die

er zur Lösung wenigstens einer gewissen Phase seines Problems braucht. Die Tatsachen erscheinen oft seltsam, unvereinbar und ohne jegliche Beziehung zueinander. Der gewiegte Detektiv erkennt jedoch, daß im Augenblick keine weiteren Nachforschungen nötig sind, und daß nur reines Nachdenken zu einer richtigen Zusammenstellung der gesammelten Tatsachen führen kann. So spielt er auf seiner Geige oder lehnt sich bequem in seinem Lehnstuhl zurück und raucht eine Pfeife, wenn ihm plötzlich der Gedanke einfällt; er hat's! Nicht nur besitzt er eine Erklärung für die vorhandenen Schlüssel, sondern er erkennt auch, daß gewisse andere Ereignisse geschehen sein müssen. Da er jetzt genau weiß, wo er zu suchen hat, so mag er, wenn er will, ausgehen und weitere Bestätigungen seiner Theorie sammeln.

Der Wissenschaftler, der das Buch der Natur liest – wenn es erlaubt ist, diese platte Phrase zu wiederholen –, muß die Lösung des Rätsels selbst finden; er kann nicht, wie ungeduldige Leser anderer Geschichten es häufig tun, in den letzten Seiten des Buches blättern und sich das eigene Nachdenken ersparen. In unserem Fall ist der Leser zugleich der Erforscher. Es ist seine Aufgabe, den Zusammenhang der Ereignisse in ihrer komplizierten Verflechtung wenigstens teilweise zu deuten und zu erklären. Um auch nur eine bescheidene Teillösung zu finden, muß der Wis-

senschaftler die ihm zugänglichen und ungeordneten Tatsachen sammeln und sie durch schöpferische Gedankenarbeit ordnen und verständlich machen.

Es ist unser Ziel, auf den folgenden Seiten in weiten Umrissen diejenige Arbeit der Physiker zu beschreiben, die das reine Denken in der Forschung ausmacht. Wir werden uns hauptsächlich mit der Bedeutung der Gedanken und Ideen in dem abenteuerlichen Suchen nach der Erkenntnis der physikalischen Welt befassen.

Der erste Schlüssel

Die Bestrebungen, das geheimnisvolle Buch der Natur zu lesen, sind so alt wie das menschliche Nachdenken selbst. Doch erst vor kaum mehr als 300 Jahren begann der Wissenschaftler die Sprache dieser Geschichte zu verstehen. Seit jener Zeit, dem Zeitalter Galileis und Newtons, hat das Lesen große Fortschritte gemacht. Experimentelle Anordnungen, systematische Methoden zur Auffindung und Verfolgung der Schlüssel wurden entwickelt. Einige der Rätsel der Natur wurden gelöst, obwohl viele der Lösungen sich im Lichte der weiteren Forschung als nur vorübergehend und oberflächlich herausstellten.

Ein ganz fundamentales Problem, das durch Jahrtausende hindurch wegen seiner Komplikationen vollkommen im dunkeln geblieben war, ist das der Bewegung. All jene Bewegungen, die wir in der Natur beobachten, die eines in die Luft geworfenen Steines, eines dahingleitenden Segelbootes, eines gezogenen Wagens, sind tatsächlich sehr kompliziert. Um diese Phänomene zu verstehen, ist es ratsam, mit den denkbar einfachsten Fällen zu beginnen und allmählich zu den komplizierteren vorzudringen. Betrachten wir einen Körper, der sich in Ruhe befindet. Um die Lage eines solchen Körpers zu verändern, ist es notwendig, ihn irgendwie zu beeinflussen, ihn zu schieben oder zu heben oder andere Körper auf ihn einwirken zu lassen. Unsere Intuition sagt uns, daß Bewegung mit den Vorgängen des Stoßens, Hebens oder Ziehens verbunden ist. Wiederholte Erfahrungen würden uns vermuten lassen, daß wir den Körper stärker stoßen müssen, um ihn in schnellere Bewegung zu versetzen. Es scheint natürlich, den Schluß zu ziehen, daß die Geschwindigkeit eines Körpers um so größer sein wird, je stärker die Wirkung ist, die auf ihn ausgeübt wird. Ein von vier Pferden gezogener Wagen fährt schneller als ein Wagen, der nur von zwei Pferden gezogen wird. Intuition sagt uns also, daß Geschwindigkeit wesentlich mit Wirkung verbunden ist.

Den Lesern von Detektivromanen ist es eine bekannte Tatsache, daß ein falscher Schlüssel die Geschichte verdunkelt und die Lösung hinausschiebt. Die durch Intuition diktierte Methode des Schließens war falsch und führte zu Vorstellungen über die Bewegung, an denen durch Jahrhunderte hindurch festgehalten wurde. Aristoteles' große Autorität in ganz Europa war vielleicht der Hauptgrund für den langen Glauben an diese intuitive Idee. Wir lesen in der ihm seit 2000 Jahren zugeschriebenen *Mechanik*:

»Der sich bewegende Körper gelangt zum Stillstand, wenn die Kraft, die ihn treibt, nicht mehr so wirkt, daß sie ihn treibt.«

Die Entdeckung und Anwendung wissenschaftlichen Folgerns durch Galilei war eine der wichtigsten Errungenschaften in der Geschichte des menschlichen Denkens und markiert den wirklichen Anfang der Physik. Diese Entdeckung lehrte uns, daß intuitive, auf unmittelbare Beobachtungen gestützte Folgerungen nicht immer zuverlässig sind, da sie manchmal zu falschen Schlüsseln führen.

Aber wo versagt die Intuition? Kann es möglicherweise falsch sein, zu sagen, daß ein von vier Pferden gezogener Wagen schneller fährt als ein solcher, der von nur zwei Pferden gezogen wird?

Untersuchen wir die fundamentalen Tatsachen der Bewegung etwas näher, und beginnen wir mit einfachen Erfahrungen, die seit alters her bekannt sind und die im harten Existenzkampf erworben wurden.

Betrachten wir einen Mann auf ebener Straße, der einen Wagen schiebt und plötzlich zu schieben aufhört. Der Wagen wird sich ein kurzes Stück weiter bewegen und dann zum Stillstand kommen. Wir fragen uns: Wie ist es möglich, diese Strecke zu vergrößern? Es gibt viele Mittel, wie zum Beispiel das Ölen der Räder oder das Glätten der Straße. Je leichter sich die Räder drehen und je ebener die Straße ist, um so weiter wird sich der Wagen bewegen. Und was ist durch das Ölen und Glätten erreicht worden? Nur dies: Die äußeren Einflüsse wurden verringert. Die Folgen der Reibung wurden sowohl in den Rädern als auch zwischen Rädern und Straße vermindert. Dies ist bereits eine theoretische Interpretation der beobachteten Erscheinung, eine Auslegung, die tatsächlich willkürlich ist. Einen bedeutungsvollen Schritt weiter, und wir werden den richtigen Schlüssel gefunden haben. Stellen wir uns eine vollkommen glatte Straße und Räder ohne jede Reibung vor. Dann gäbe es nichts, was den Wagen anhalten würde, und der Wagen würde sich immer fortbewegen. Diese Folgerung wird nur erreicht durch die Vorstellung eines ideali-

sierten Experiments, das niemals wirklich ausgeführt werden kann, da es unmöglich ist, alle äußeren Einflüsse zu eliminieren. Das idealisierte Experiment zeigt den Schlüssel, welcher tatsächlich die Grundlage der Bewegungsmechanik bildete.

Vergleichen wir die beiden Methoden der Inangriffnahme des Problems, so können wir sagen: Die intuitive Idee ist: je größer die Wirkung, um so größer die Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit zeigt uns daher, ob äußere Kräfte an dem Körper wirken oder nicht. Der von Galilei gefundene neue Schlüssel heißt: Wenn ein Körper weder gestoßen noch gezogen, noch auf irgendeine andere Weise beeinflusst wird, oder, kürzer gesagt, wenn keine äußeren Kräfte auf ihn wirken, so bewegt er sich gleichförmig, d. h. immer mit derselben Geschwindigkeit längs einer geraden Bahn. Die Geschwindigkeit zeigt also nicht an, ob äußere Kräfte auf den Körper wirken oder nicht. Galileis Schluß, welcher der richtige ist, wurde eine Generation später von Newton als das *Trägheitsgesetz* formuliert. Es ist gewöhnlich das erste Gesetz, das wir in der Schule im Physikunterricht lernen, und mancher mag sich erinnern:

»Jeder Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung längs einer geraden Linie, es sei denn, daß er durch

äußere Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.«

Wir haben gesehen, daß dieses Trägheitsgesetz nicht direkt aus dem Experiment, sondern nur durch spekulatives, mit Beobachtungen verträgliches Denken abgeleitet werden kann! Das idealisierte Experiment kann niemals wirklich ausgeführt werden, führt aber zu einem tiefen Verständnis wirklich durchführbarer Versuche. Aus der Fülle der komplexen Bewegungen in unserer Umwelt haben wir als erstes Beispiel die gleichförmige gewählt. Dies ist die einfachste Bewegung, da keine äußeren Kräfte wirken. Gleichförmige Bewegung kann jedoch niemals hergestellt werden; ein vom Turm geworfener Stein, ein geschobener Wagen können sich niemals gleichförmig bewegen, da wir den Einfluß der äußeren Kräfte nicht eliminieren können.

In einer guten Detektivgeschichte führen häufig die augenfälligsten Schlüssel auf fälschlich verdächtige Personen. Bei unseren Versuchen, die Gesetze der Natur zu verstehen, finden wir in ähnlicher Weise, daß die naheliegendste Erklärung häufig die falsche ist. Das menschliche Denken bildet sich ein immerfort wechselndes Bild des Universums. Galileis Beitrag war die Zerstörung des intuitiven Standpunktes und die Ersetzung desselben durch einen neuen. Dies ist die Bedeutung von Galileis Entdeckung.

Aber eine weitere Frage hinsichtlich der Bewegung stellt sich sofort ein. Wenn die Bewegung kein Anzeichen des Einwirkens äußerer Kräfte auf einen Körper ist, was ist es dann? Die Antwort auf diese fundamentale Frage wurde von Galilei und schärfer von Newton gegeben und bildet einen weiteren Schlüssel in unserer Untersuchung.

Um die richtige Antwort zu finden, müssen wir etwas tiefer über den Wagen auf einer vollkommen glatten Straße nachdenken. In unserem idealisierten Experiment war die Gleichförmigkeit der Bewegung der Abwesenheit aller äußeren Kräfte zuzuschreiben. Stellen wir uns nun vor, daß dem sich gleichförmig bewegendem Wagen ein Stoß in seiner Bewegungsrichtung gegeben wird. Was geschieht? Offensichtlich wird seine Geschwindigkeit vergrößert, gerade so, wie ein Stoß in der entgegengesetzten Richtung der Bewegung seine Geschwindigkeit vermindern würde. Im ersten Fall wurde der Wagen durch den Stoß beschleunigt, im zweiten verlangsamt. Daraus folgt sofort ein Schluß: Die Einwirkung einer äußeren Kraft ändert die Geschwindigkeit. Nicht die Geschwindigkeit selbst also, sondern ihre Änderung ist die Folge des Stoßens und Ziehens. Eine solche Kraft vergrößert oder vermindert die Geschwindigkeit, je nachdem sie in direkter oder entgegengesetzter Bewegungsrichtung wirkt. Galilei erkannte dies deut-

lich und schrieb in seinen *Zwei neue Wissenschaften*:

»... irgendeine Geschwindigkeit, die einmal einem Körper erteilt wurde, bleibt streng aufrechterhalten, solange wie die äußeren Ursachen für Beschleunigung oder Verzögerung entfernt sind, eine Bedingung, die nur bei horizontalen Ebenen gefunden wird; denn im Fall von Flächen, die abwärts geneigt sind, besteht bereits eine Ursache der Beschleunigung; während für nach aufwärts geneigte Flächen Verzögerung eintritt; hieraus folgt, daß Bewegung auf einer horizontalen Ebene ewig ist; denn falls die Bewegung gleichförmig ist, so kann sie nicht verkleinert oder verlangsamt, viel weniger zerstört werden.«

Indem wir dem richtigen Schlüssel folgen, gelangen wir zu einem tieferen Verständnis der Bewegung. Die Beziehung zwischen Kraft und Änderung der Bewegung und nicht, wie wir gemäß unserer Intuition denken sollten, die Beziehung zwischen Kraft und Bewegung selbst bildet die Grundlage der klassischen Mechanik, so wie sie von Newton formuliert wurde.

Wir haben von zwei Begriffen Gebrauch gemacht, welche eine Hauptrolle in der klassischen Mechanik

spielen: Kraft und Änderung der Geschwindigkeit. Wir werden sehen, daß im Laufe der weiteren Entwicklung der Wissenschaft diese beiden Begriffe erweitert und verallgemeinert werden. Wir wollen sie daher noch etwas eingehender untersuchen.

Was ist Kraft? Gefühlsmäßig spüren wir, was mit diesem Ausdruck gemeint ist. Der Begriff entstand aus dem Gefühl der Anstrengung des Stoßens, Werfens oder Ziehens; der Muskelempfindung, die jede dieser Handlungen begleitet. Aber seine Verallgemeinerung geht weit über diese einfachen Beispiele hinaus. Wir können auch ohne die Vorstellung eines Pferdes, das einen Wagen zieht, an Kraft denken! Wir sprechen von der Anziehungskraft zwischen Erde und Sonne, Mond und Erde, und von den Kräften, die die Gezeiten verursachen. Wir sprechen von Kraft, mit der die Erde uns selbst und alle Gegenstände um uns herum zwingt, in ihrer Einflußsphäre zu bleiben, und der Kraft, mit welcher der Wind die Wellen auf einem See aufwirft und die Blätter von den Bäumen schüttelt. Jedesmal, wenn wir eine Änderung der Geschwindigkeit beobachten, muß im allgemeinen Sinne eine äußere Kraft dafür verantwortlich gemacht werden. Newton schrieb in seiner *Principia*:

»Eine eingeprägte Kraft ist eine auf einen Körper ausgeübte Wirkung, um seinen Zustand der

Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung in gerader Linie zu ändern. Diese Kraft besteht nur in der Wirkung und bleibt nicht länger in dem Körper, wenn die Wirkung vorüber ist. Denn ein Körper erhält jeden neuen Zustand, den er erreicht, allein durch seine *vis inertiae* bei. Eingeprägte Kräfte rühren von verschiedenen Ursachen her, wie die aus Schlag, aus Druck, aus der Zentrifugalkraft.«

Wenn man einen Stein vom Turm fallen läßt, so ist seine Bewegung keineswegs gleichförmig, sondern seine Geschwindigkeit wächst während des Fallens. Wir folgern daher: Eine äußere Kraft wirkt auf einen Stein in der Bewegungsrichtung. Oder mit anderen Worten: Die Erde zieht den Stein an. Nehmen wir ein anderes Beispiel. Was passiert, wenn der Stein senkrecht in die Höhe geworfen wird? Die Geschwindigkeit nimmt ab, bis der Stein seinen höchsten Punkt erreicht hat und herunterzufallen beginnt. Die Abnahme der Geschwindigkeit wird durch dieselbe Kraft verursacht wie die Beschleunigung eines fallenden Körpers. In dem einen Fall wirkt die Kraft in der Bewegungsrichtung, im anderen Fall in der entgegengesetzten Richtung. Die Kraft ist dieselbe, aber sie verursacht Beschleunigung oder Verzögerung,

je nachdem, ob der Stein fallen gelassen oder in die Höhe geworfen wird.

Vektoren

Alle soweit betrachteten Bewegungen waren *geradlinig*, d. h. es waren Bewegungen längs einer geraden Linie. Wir müssen nun einen Schritt weitergehen. Wir gewinnen ein Verständnis der Naturgesetze durch die Analyse der einfachsten Fälle und indem wir bei unseren ersten Bemühungen alle verwickelten Komplikationen beiseite lassen. Eine gerade Linie ist einfacher als eine krumme. Jedoch ist es unmöglich, sich mit dem Verständnis der geradlinigen Bewegung allein zufriedenzugeben. Die Bewegung des Mondes, der Erde und der Planeten, gerade solche Fälle, auf welche die Prinzipien der Mechanik mit solchem brillanten Erfolg angewandt worden sind, sind Bewegungen längs gekrümmter Linien. Der Übergang von geradliniger Bewegung zur Bewegung längs einer gekrümmten Kurve bringt neue Schwierigkeiten mit sich, die wir den Mut haben müssen zu lösen, falls wir die Prinzipien der klassischen Mechanik, welche die ersten Schlüssel und somit den Ausgangspunkt der weiteren Entwicklung der Wissenschaft bildeten, verstehen wollen.

Betrachten wir ein weiteres idealisiertes Experiment, bei dem eine vollkommen glatte Kugel gleichförmig auf einer vollkommen ebenen Fläche rollt. Wird der Kugel ein Stoß erteilt, d. h. eine äußere Kraft auf sie ausgeübt, so wissen wir, daß sich ihre Geschwindigkeit ändert. Nehmen wir nun an, daß die Richtung des Stoßes nicht wie bei dem Beispiel des Wagens in der Richtung der Bewegung, sondern in einer ganz anderen Richtung liegt; z.B. senkrecht zu dieser Richtung! Was geschieht mit der Kugel? Drei Phasen der Bewegung können unterschieden werden: die ursprüngliche Anfangsbewegung, die Einwirkung der Kraft und die schließliche Bewegung nach dem Aufhören des Einflusses der Kraft. Gemäß dem Trägheitsgesetz sind beide Bewegungen vor und nach der Wirkung der Kraft vollkommen gleichförmig. Aber es besteht ein Unterschied zwischen der gleichförmigen Bewegung vor und nach der Wirkung der Kraft; die Richtung hat sich geändert! Die ursprüngliche Bahn der Kugel und die Richtung der Kraft stehen aufeinander senkrecht. Die Endbewegung wird keiner dieser beiden Richtungen folgen, sondern einer Linie, die irgendwo zwischen beiden gelegen ist, und zwar näher der Richtung der Kraft, falls ein starker Stoß und die Anfangsgeschwindigkeit klein war, und näher der anfänglichen Bewegungsrichtung, falls der Stoß schwach und die Anfangsgeschwindigkeit groß

war. Unser neuer, auf dem Trägheitsgesetz beruhender Schluß lautet: Im allgemeinen ändert die Wirkung einer äußeren Kraft nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Richtung der Bewegung. Ein Verständnis dieser Tatsache bereitet uns für die Verallgemeinerung vor, die durch den Begriff der *Vektoren* in die Physik eingeführt wurde.

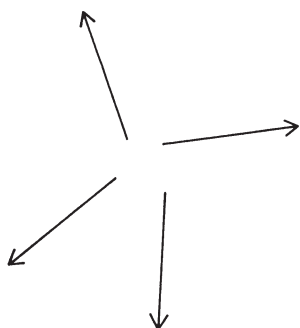
Wir können mit unserer direkten Methode des Folgerns fortfahren. Der Ausgangspunkt sei wieder Galileis Trägheitsgesetz. Wir sind noch weit von der Erschöpfung aller Konsequenzen dieses wertvollen Schlüssels zu dem Bewegungsrätsel entfernt.

Betrachten wir zwei Kugeln, die sich in verschiedenen Richtungen auf einer glatten Fläche bewegen. Um ein bestimmtes Bild vor Augen zu haben, mögen wir annehmen, daß die beiden Richtungen senkrecht aufeinander stehen. Da es keine äußeren einwirkenden Kräfte gibt, sind die Bewegungen vollkommen gleichförmig. Wir nehmen weiter an, daß die Geschwindigkeiten der beiden Kugeln gleich sind, d.h. beide legen in gleichen Zeitabschnitten gleiche Strecken zurück. Ist es aber korrekt, zu sagen, daß die beiden Kugeln die gleiche Bewegung haben? Die Antwort kann ja oder nein sein! Wenn die Geschwindigkeitsmesser zweier Wagen beide 60 km pro Stunde anzeigen, so sagt man gewöhnlich, daß sie dieselbe Geschwindigkeit haben oder sich gleich schnell be-

wegen, ohne Rücksicht auf die Richtung ihrer Bewegung. Die Wissenschaft muß aber zu ihrem eigenen Gebrauch ihre eigene Sprache und Begriffe schaffen. Wissenschaftliche Begriffe entspringen häufig denen der gewöhnlichen Sprache des täglichen Lebens, entwickeln sich aber in verschiedener Weise. Sie werden abgeändert und verlieren die Zweideutigkeit ihrer Bedeutung im alltäglichen Leben; sie werden präzisiert, so daß sie in wissenschaftlichen Gedankengängen Anwendung finden können.

Vom Standpunkt des Physikers ist es vorteilhaft, die Bewegungen zweier sich in verschiedenen Richtungen bewogender Kugeln verschieden zu nennen. Obwohl es eine reine Sache der Konvention ist, so ist es bequemer zu sagen, daß vier von einem Verkehrskreis sich auf verschiedenen Wegen fortbewegende Wagen nicht dieselbe Bewegung haben, selbst wenn die auf den Geschwindigkeitsmessern angegebenen Beträge der Geschwindigkeiten bei allen dieselben sind. Diese Unterscheidung zwischen Geschwindigkeit und Bewegung illustriert, wie die Physik von einem Begriff des täglichen Lebens ausgeht und ihn in einer Weise ändert, die sich für die weitere Entwicklung der Wissenschaft fruchtbar erweist.

Wird eine Länge gemessen, so drückt man das Resultat in Anzahlen von Einheiten aus. Die Länge eines Stabes möge 3 Meter und 75 Zentimeter betra-

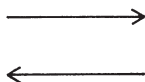


gen, das Gewicht eines Gegenstandes 2 Pfund und 30 Gramm, ein gemessenes Zeitintervall so und so viele Minuten und Sekunden. In jedem dieser Fälle wird das Resultat einer Messung durch eine Zahl ausgedrückt. Eine Zahl allein ist jedoch zur Beschreibung mancher physikalischer Begriffe unzureichend. Die Erkenntnis dieser Tatsache bedeutet im wissenschaftlichen Denken einen entscheidenden Schritt vorwärts. Zum Beispiel ist zur Charakterisierung einer Geschwindigkeit die Angabe einer Richtung ebenso wichtig wie die einer Zahl. Eine solche Größe, die sowohl einen Wert als auch eine Richtung besitzt, wird ein *Vektor* genannt. Ein passendes Symbol dafür ist ein gerader Strich mit einem Pfeil. Eine Geschwindigkeit kann mit Hilfe eines solchen Striches und eines Pfeils, oder kurz durch einen Vektor dargestellt werden, dessen Länge in irgendwelchen festgesetzten Einheiten ein Maß für den Betrag der

Geschwindigkeit und dessen Richtung diejenige der Bewegung ist.

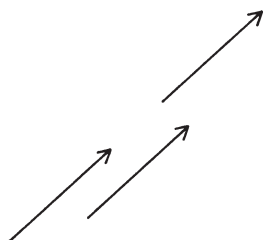
Wenn sich vier Wagen mit gleicher Geschwindigkeit von einem Verkehrskreis entfernen, so können ihre Bewegungen durch vier Vektoren der gleichen Länge dargestellt werden, wie es im obigen Diagramm angegeben ist. In unserem Maßstab möge 1 cm einer Geschwindigkeit von 60 km pro Stunde entsprechen. Auf diese Weise kann jede Bewegung durch einen Vektor bezeichnet werden, und umgekehrt kann man die Bewegung eines Körpers von einem solchen Vektordiagramm ablesen, wenn der Maßstab bekannt ist.

Fahren zwei Wagen aneinander vorbei, und ihre Geschwindigkeitsmesser zeigen beide auf 60 km pro Stunde, so charakterisieren wir ihre Bewegungen durch zwei verschiedene Vektoren, deren Pfeile in entgegengesetzte Richtungen weisen. Stellen wir uns ein System paralleler Eisenbahnstrecken vor, so müssen ebenfalls die Fahrtrichtungsanzeiger für ›Nord‹ und ›Süd‹ in entgegengesetzte Richtungen weisen.

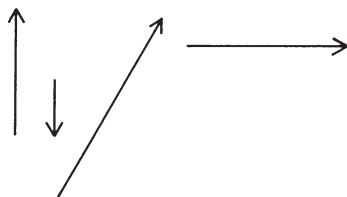


Alle Züge aber, die an verschiedenen Stellen oder auf verschiedenen Gleisen mit gleicher Geschwindigkeit nach Norden fahren, haben dieselbe Bewegung,

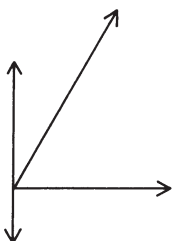
die durch einen einzigen Vektor dargestellt werden kann. Es gibt nichts an einem solchen Vektor, der anzeigt, welchen Bahnhof der Zug passiert oder auf welchem der vielen Gleise er läuft.



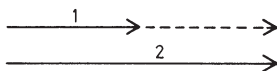
Mit anderen Worten: Alle im nebenstehenden Diagramm gezeichneten Vektoren mögen nach Übereinkunft als gleich betrachtet werden: Sie liegen auf einer Geraden oder parallelen Linien, haben die gleichen Längen, und ihre Pfeile weisen in dieselbe Richtung. Die nächste Figur zeigt sämtlich verschiedene Vektoren, da sie sich entweder in Länge oder Richtung oder in beiden unterscheiden.



Die gleichen vier Vektoren können, wie es die nächste Zeichnung zeigt, auf eine andere Weise gezogen werden, wobei sie alle von einem gemeinsamen Punkt ausgehen. Da der Anfangspunkt keine Rol-

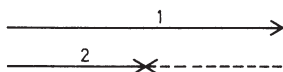


le spielt, können diese Vektoren die Bewegung von vier Wagen darstellen, die sich von einem Verkehrskreis fortbewegen, oder die in verschiedenen Teilen des Landes mit den angegebenen Geschwindigkeiten in den angegebenen Richtungen fahren. Diese Vektordarstellung mag jetzt dazu benutzt werden, um die früher diskutierten Tatsachen hinsichtlich der geradlinigen Bewegung zu beschreiben. Wir sprachen von einem sich in gerader Linie gleichförmig bewegendem Wagen, der einen Stoß in seiner Bewegungsrichtung bekam, wodurch der Betrag seiner Bewegung vergrößert wurde. Graphisch kann dies durch zwei Vektoren angegeben werden, einen kürzeren für die Bewegung vor dem Stoß und einen längeren in derselben Richtung für die Bewegung nach dem Stoß.



Die Bedeutung des punktierten Vektors ist klar; er stellt die Änderung der Bewegung dar, für die, wie wir wissen, der Stoß verantwortlich ist. Für den Fall,

wo die Kraft der Richtung der Bewegung entgegengesetzt gerichtet ist, wo die Bewegung also verlangsamt wird, sieht das Diagramm etwas anders aus. Wieder entspricht der punktierte Vektor der Bewegungsänderung, aber in diesem Fall ist seine Richtung verschieden. Es ist klar, daß nicht nur die Bewegungen selbst Vektoren sind, sondern daß auch ihre Änderungen durch Vektoren dargestellt werden können.



Aber jede Änderung der Bewegung hat ihre Ursache in der Wirkung einer äußeren Kraft, so daß folglich auch die Kraft durch einen Vektor darzustellen ist. Um die Kraft zu charakterisieren, genügt es nicht, anzugeben, wie kräftig wir den Wagen stoßen, sondern wir müssen auch sagen, in welche Richtung wir ihn stoßen. Die Kraft, ebenso wie die Bewegung oder ihre Änderung, muß durch einen Vektor, und nicht durch eine bloße Zahl, angegeben werden. Also: Die äußere Kraft ist ebenfalls ein Vektor, und er muß die gleiche Richtung haben wie der Vektor der Bewegungsänderung. In den beiden letzten Abbildungen geben die punktierten Vektoren die Richtung der Kraft ebenso getreu wieder, wie sie die Änderung der Bewegung anzeigen.

Der Skeptiker mag hier vielleicht einwerfen, er sehe keinen Vorteil in der Einführung der Vektoren. Das einzige, was erreicht worden ist, ist die Übersetzung vorher bekannter Tatsachen in eine ungewohnte und komplizierte Sprache. An dieser Stelle wäre es in der Tat schwer, ihn von seinem Irrtum zu überzeugen. Im Augenblick hat er tatsächlich recht. Wir werden aber sehen, daß gerade diese seltsame Sprache zu einer wichtigen Verallgemeinerung führt, für die Vektoren wesentlich sind.

Das Rätsel der Bewegung

Solange wir unsere Überlegungen nur auf geradlinige Bewegungen beschränken, sind wir weit davon entfernt, die in der Natur vorkommenden Bewegungen zu verstehen. Wir müssen auch Bewegungen längs gekrümmter Bahnen betrachten, und unser nächster Schritt besteht darin, die Gesetze solcher Bewegungen zu bestimmen. Dies ist keine so leichte Aufgabe. Im Falle der geradlinigen Bewegung stellten sich unsere Begriffe der Bewegung, der Bewegungsänderung und der Kraft als höchst nützlich heraus. Aber wir sehen nicht ohne weiteres, wie wir sie auf Bewegungen längs gekrümmter Linien anwenden können. Wir könnten uns tatsächlich vorstellen, daß die al-

ten Begriffe zur Beschreibung allgemeiner Bewegungen ungeeignet sind, und daß neue geschaffen werden müssen. Sollen wir versuchen, unseren alten Weg fortzusetzen, oder sollen wir einen neuen Weg suchen?

Die Verallgemeinerung eines Begriffes ist ein Prozeß, der in der Wissenschaft häufig angewandt wird. Die Methode der Verallgemeinerung ist nicht eindeutig, da es gewöhnlich zahlreiche Wege gibt, um sie durchzuführen. Einer Forderung muß jedoch immer streng Genüge geleistet werden: Jeder verallgemeinerte Begriff muß sich auf den ursprünglichen reduzieren, wenn die ursprünglichen Bedingungen erfüllt sind.

Wir können dies am besten an unserem Beispiel erklären. Wir wollen versuchen, die alten Begriffe der Bewegung, der Bewegungsänderung und der Kraft auf den Fall krummliniger Bewegungen zu verallgemeinern. Fachmännisch gesprochen schließen wir, wenn wir von Kurven sprechen, gerade Linien mit ein. Die gerade Linie ist ein spezielles und triviales Beispiel einer Kurve. Wenn daher Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsänderung und Kraft für eine Bewegung längs einer krummen Linie eingeführt sind, so sind sie auch automatisch für geradlinige Bewegungen erklärt. Aber dieses Resultat darf nicht den früheren widersprechen. Wenn die Kurve zu einer geraden Linie wird, müssen die verallgemeinerten

Begriffe sich auf die bekannten der geradlinigen Bewegung reduzieren. Diese Einschränkung ist jedoch nicht streng genug, um die Verallgemeinerung eindeutig zu bestimmen. Sie läßt noch viele Möglichkeiten offen. Die Geschichte der Wissenschaft zeigt, daß die einfachsten Verallgemeinerungen sich manchmal als erfolgreich erwiesen haben und manchmal nicht. Wir müssen zunächst einmal raten. In unserem Fall ist es eine leichte Sache, die richtige Verallgemeinerung herauszufinden. Die neuen Begriffe werden sich als sehr nützlich herausstellen und werden uns helfen, die Bewegung eines geworfenen Steines ebenso wie die der Planeten zu verstehen.

Was bedeuten eigentlich die Worte Bewegung, Bewegungsänderung und Kraft im allgemeinen Fall einer krummlinigen Bewegung? Ein sehr kleiner Körper bewege sich längs der Kurve von links nach rechts. Ein solcher Körper wird häufig eine *Partikel* genannt. In unserer Zeichnung gibt der Punkt auf der Kurve die Lage der Partikel zu einer bestimmten Zeit an.



Welches ist die Bewegung, die die Partikel an dieser Stelle und zu diesem Zeitpunkt besitzt? Wieder weist Galileis Schlüssel auf einen Weg, die Be-

wegung einzuführen. Wir müssen uns wiederum an unsere Vorstellungskraft wenden und über ein idealisiertes Experiment nachdenken. Die Partikel bewegt sich von links nach rechts und steht unter dem Einfluß äußerer Kräfte. Stellen wir uns vor, daß zu einer gegebenen Zeit und an der durch den Punkt bezeichneten Stelle alle diese Kräfte plötzlich zu wirken aufhörten. Nach dem Trägheitsgesetz muß dann die Bewegung gleichförmig sein. In praxi können wir natürlich nicht alle auf einen Körper wirkenden äußeren Kräfte aufheben. Wir können nur vermuten, ›was würde eintreten, wenn...?‹ und die Angemessenheit unserer Vermutung aus den Schlußfolgerungen und deren Übereinstimmung mit dem Experiment beurteilen.

Der Vektor in der nächsten Abbildung gibt die vermutliche Richtung an, in der sich der Massenpunkt weiter bewegen würde, wenn alle äußeren Kräfte plötzlich verschwinden würden. Es ist die Richtung der sogenannten Tangente.



Betrachtet man eine sich bewegende Partikel durch ein Mikroskop, so erblickt man nur einen sehr kleinen Teil ihrer Bahn, der als ein kleines Segment

erscheint. Die Tangente ist dessen Verlängerung. Der dargestellte Vektor repräsentiert daher die Bewegung in einem gewissen Augenblick. Der Bewegungsvektor liegt auf der Tangente. Seine Länge stellt die Größe der Bewegung, oder die Geschwindigkeit, dar, wie sie zum Beispiel von dem Geschwindigkeitsmesser eines Autos angegeben wird.

Unser idealisiertes Experiment mit der Zerstörung der Bewegung, um den Bewegungsvektor zu einem gegebenen Augenblick zu finden, muß nicht zu ernst genommen werden. Es soll uns nur zu verstehen helfen, was wir als den Geschwindigkeitsvektor zu bezeichnen haben, und wie wir ihn für einen gegebenen Zeitpunkt an einem gegebenen Ort bestimmen können.

In der nächsten Figur sind die Bewegungsvektoren für drei verschiedene Lagen einer sich längs einer krummen Linie bewegendem Partikel eingezeichnet.



In diesem Fall ändert sich nicht nur die Richtung, sondern auch die Größe der Bewegung, wie es durch die Länge der Vektoren kenntlich gemacht wird.

Genügt dieser neue Begriff der Bewegung den für alle Verallgemeinerungen aufgestellten Bedingungen?

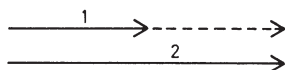
D.h., reduziert er sich zu dem uns bekannten Begriff, wenn die Kurve eine gerade Linie wird? Die Tangente einer geraden Linie ist die Linie selbst. Der Bewegungsvektor liegt in der Richtung der Bewegung, gerade wie in dem Beispiel des sich bewegenden Wagens oder der rollenden Kugeln.

Der nächste Schritt ist die Einführung der Bewegungsänderung einer sich längs einer gekrümmten Kurve bewegenden Partikel. Auch dies kann auf verschiedene Weisen getan werden, von denen wir die einfachste und bequemste wählen. Die letzte Zeichnung enthielt mehrere Bewegungsvektoren, welche die Bewegung an verschiedenen Punkten der Bahn darstellten. Die beiden ersten mögen noch einmal so gezeichnet werden, daß sie einen gemeinsamen Anfangspunkt haben, wie es, wie wir gesehen haben, bei Vektoren immer möglich ist. Den punktierten Vektor nennen wir die Bewegungsänderung. Sein Anfangspunkt ist das Ende des ersten und sein Endpunkt das Ende des zweiten Vektors.



Diese Definition der Bewegungsänderung mag zunächst künstlich und bedeutungslos erscheinen. Sie wird um vieles klarer, wenn man den speziellen Fall betrachtet, in dem die Vektoren 1 und 2 dieselbe

Richtung haben. Dies bedeutet natürlich den Übergang zur Bewegung auf einer geraden Linie. Wenn beide Vektoren denselben Ausgangspunkt haben, so verbindet der punktierte Vektor wieder ihre Endpunkte.



Die Figur ist jetzt identisch mit der auf Seite 98, und der frühere Begriff ist als ein Spezialfall des neuen wiedergefunden worden. (Wir mußten die beiden zusammenfallenden Linien in unserer Zeichnung getrennt zeichnen, um sie voneinander unterscheiden zu können.)

Wir führen jetzt den letzten Schritt in unserem Prozeß der Verallgemeinerung aus. Es ist die Aufstellung der wichtigsten aller Vermutungen, die wir soweit zu machen hatten. Wir müssen die Beziehung zwischen Kraft und Änderung der Bewegung festsetzen, so daß wir den Schlüssel formulieren können, der uns befähigen wird, das allgemeine Problem der Bewegung zu verstehen.

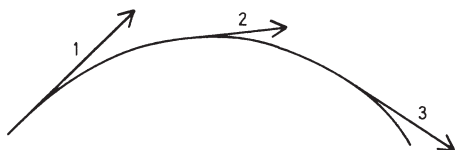
Der Schlüssel zur Erklärung der Bewegung längs einer geraden Linie war einfach: Eine äußere Kraft ist für die Änderung der Bewegung verantwortlich; der Kraftvektor hat dieselbe Richtung wie die Bewegungsänderung. Was müssen wir jetzt als den Schlüssel zur krummlinigen Bewegung betrachten? Genau

dasselbe! Der einzige Unterschied besteht darin, daß die Änderung der Bewegung jetzt eine umfassendere Bedeutung hat als zuvor. Ein Blick auf die punktierten Vektoren der letzten Zeichnungen zeigt dies deutlich. Wenn die Bewegung für alle Punkte längs der Kurve bekannt ist, kann die Richtung der Kraft in jedem beliebigen Punkt sofort angegeben werden. Man muß die Bewegungsvektoren für zwei durch ein sehr kleines Zeitintervall getrennte und dementsprechend auch sehr nahe benachbarte Punkte ziehen. Der Vektor vom Endpunkt des ersten zum Endpunkt des zweiten Bewegungsvektors gibt die Richtung der wirkenden Kraft an. Aber es ist wesentlich, daß die beiden Bewegungsvektoren nur durch ein ›sehr kurzes‹ Zeitintervall voneinander getrennt sind. Eine strenge Analyse solcher Wörter wie ›sehr nahe‹, ›sehr kurz‹ ist durchaus nicht einfach. Es war tatsächlich gerade diese Analyse, die Newton und Leibniz zur Erfindung der Differentialrechnung führte.

Es ist ein mühseliger und sorgfältig ausgedachter Weg, der zu der Verallgemeinerung von Galileis Schlüssel führt. Wir können hier nicht beschreiben, wie ungeheuer vielfältig und fruchtbar die Konsequenzen dieser Verallgemeinerung sich erwiesen haben. Ihre Anwendung liefert einfache und überzeugende Erklärungen vieler Tatsachen, die vordem unzusammenhängend und unverständlich geblieben waren.

Aus der außerordentlich reichen Mannigfaltigkeit der Bewegungen wollen wir nur die einfachsten wählen und zu ihrer Erklärung das eben formulierte Gesetz anwenden.

Ein abgefeuertes Geschloß, ein schräg in die Höhe geworfener Stein, ein Wasserstrahl aus einem Schlauch, alle beschreiben bekannte Bahnen desselben Typus, die Parabel. Stellen wir uns z. B. einen Geschwindigkeitsmesser an einem Stein befestigt vor, so daß sein Bewegungsvektor für jeden Zeitpunkt angegeben werden kann. Das Resultat möge in der letzten Zeichnung dargestellt sein. Die Richtung der auf den Stein wirkenden Kraft ist gerade die der Bewegungsänderung, und wir haben gesehen, wie diese bestimmt werden kann. Das in der nächsten Zeichnung angegebene Resultat zeigt, daß die Kraft vertikal und nach unten gerichtet ist.

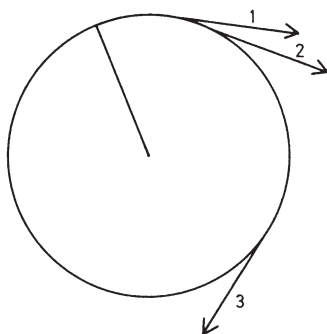


Sie ist ganz dieselbe, wie die für einen frei von einem Turm fallenden Stein. Die Bahnkurven sind gänzlich verschieden, aber die Bewegungsänderung hat dieselbe Richtung, und zwar die nach dem Mittelpunkt der Erde. Ein am Ende eines Fadens befestigter

und in einer horizontalen Ebene herumgeschwungener Stein beschreibt eine kreisförmige Bahn.

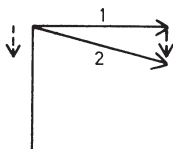


Alle Vektoren, die in dem Diagramm diese Bewegung darstellen, haben dieselbe Länge, wenn die Geschwindigkeit gleichförmig ist. Die Bewegung ist nichtsdestoweniger nicht gleichförmig, da die Bahn keine gerade Linie ist. Nur in gleichförmig geradliniger Bewegung sind keine Kräfte involviert. Hier sind jedoch Kräfte beteiligt, und die Bewegung ändert sich zwar nicht im Betrag, wohl aber in der Richtung.



Gemäß dem Bewegungsgesetz muß eine Kraft für diese Änderung verantwortlich sein, die in diesem Fall eine Kraft zwischen dem Stein und der den Faden haltenden Hand ist. Eine weitere Frage stellt

sich sofort ein: In welcher Richtung wirkt die Kraft? Wieder zeigt ein Vektordiagramm die Antwort. Wir zeichnen die Bewegungsvektoren für zwei nahe benachbarte Punkte und konstruieren auf die angegebene Weise den Vektor der Bewegungsänderung.



Dieser letzte Vektor ist, wie ersichtlich, längs des Fadens nach dem Mittelpunkt des Kreises gerichtet und ist stets senkrecht zum Bewegungsvektor oder der Tangente. Mit anderen Worten, die Hand übt mittels des Fadens eine Kraft auf den Stein aus.

Sehr ähnlich ist das wichtigere Beispiel der Bewegung des Mondes um die Erde. Diese Bewegung mag angenähert als eine kreisförmige Bewegung dargestellt werden. Die Kraft ist aus demselben Grund nach der Erde gerichtet, wie sie in unserem vorigen Beispiel nach der Hand gerichtet war. Allerdings gibt es keinen Faden, der den Mond mit der Erde verbindet, aber wir können uns eine Linie zwischen den Mittelpunkten der beiden Körper vorstellen; die Kraft wirkt längs dieser Linie und ist nach dem Mittelpunkt der Erde gerichtet, gerade so wie die Kraft, die auf einen in die Luft geworfenen oder von einem Turm fallen gelassenen Stein wirkt.

Alles, was wir hinsichtlich der Bewegung gesagt haben, kann in einem einzigen Satz zusammengefaßt werden: *Kraft und Bewegungsänderung sind Vektoren in derselben Richtung*. Dies ist der erste Schlüssel zu dem Problem der Bewegung, doch genügt er noch keineswegs zu einer vollständigen Erklärung aller in der Natur beobachteten Bewegungen. Der Übergang von Aristoteles' Gedankengängen zu denjenigen Galileis bildete einen außerordentlich wichtigen Eckstein in der Begründung der Wissenschaft. War dieser Schritt erst einmal vollzogen, so war der Gang der weiteren Entwicklung klar. Unser Interesse richtet sich hier auf die ersten Phasen der Entwicklungen, auf das Auffinden der ersten Schlüssel, auf die Beschreibung, wie neue physikalische Begriffe im schmerzvollen Kampf mit alten Ideen geboren wurden. Es kommt uns hier nur auf das Pionierwerk in der Wissenschaft an, das im Auffinden von neuen und unerwarteten Wegen besteht, auf die Abenteuer im wissenschaftlichen Denken, die zu immerfort wechselnden Bildern des Universums Anlaß geben. Die ersten und fundamentalen Schritte sind immer von revolutionärem Charakter. Wissenschaftliche Forschung findet alte Begriffe zu eng und ersetzt sie durch neue. Die fortlaufende Entwicklung längs bereits beschrittener Wege hat mehr den Charakter der Evolution, bis der nächste Wendepunkt

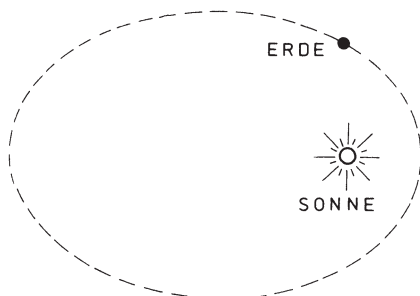
erreicht ist, wo ein noch neueres Feld erobert werden muß. Um jedoch zu verstehen, was es für Gründe und Schwierigkeiten sind, die zu einer Änderung wichtiger Begriffe zwingen, müssen wir nicht nur die ersten Schlüssel kennen, sondern auch die Folgerungen, die aus ihnen gezogen werden können.

Eines der wichtigsten Merkmale der modernen Physik besteht darin, daß die Folgerungen, die aus den ersten Schlüsseln gezogen werden können, nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ sind. Betrachten wir wieder einen von einem Turm fallen gelassenen Stein. Wir haben gesehen, daß seine Geschwindigkeit sich während des Fallens vergrößert, doch würden wir gerne mehr wissen. Wie groß ist eigentlich diese Zunahme? Wo befindet sich der Stein und wie groß ist seine Geschwindigkeit zu jeder beliebigen Zeit, nachdem er zu fallen beginnt? Wir möchten in der Lage sein, Ereignisse vorauszusagen und durch Experimente prüfen zu können, ob diese Voraussagungen und somit die anfänglichen Annahmen bestätigt werden.

Um quantitative Schlußfolgerungen ziehen zu können, müssen wir die Sprache der Mathematik benutzen. Die meisten der fundamentalen Ideen der Wissenschaft sind im Grunde einfach und können in der Regel in einer leicht verständlichen Sprache ausgedrückt werden. Um diese Ideen aber weiterzuver-

folgen, ist die Kenntnis höchst verfeinerter Methoden der Forschung erforderlich. Wollen wir zu Schlüssen gelangen, die mit dem Experiment direkt verglichen werden können, so wird die Mathematik als Werkzeug des Denkens und Folgerns unentbehrlich. Solange wir nur mit den fundamentalen physikalischen Ideen beschäftigt sind, können wir die Sprache der Mathematik vermeiden. Da wir diesen Standpunkt hier konsequent vertreten wollen, müssen wir uns gelegentlich darauf beschränken, ohne Beweis einige der Resultate zu zitieren, die für das Verständnis weiterer Schlüssel notwendig sind. Der Preis, der für das Aufgeben der Sprache der Mathematik gezahlt werden muß, besteht in einem Verlust an Genauigkeit der Beschreibung und in der Notwendigkeit, gelegentlich Resultate angeben zu müssen, ohne zeigen zu können, wie sie erreicht worden sind.

Ein sehr wichtiges Beispiel der Bewegung ist die Bewegung der Erde um die Sonne. Es ist bekannt,



daß die Bahn eine geschlossene Kurve ist, eine sogenannte Ellipse. Die Konstruktion eines Vektordiagramms zeigt, daß die auf die Erde ausgeübte Kraft nach der Sonne hin gerichtet ist. Aber dies ist nur ein karger Aufschluß. Wir möchten in der Lage sein, die Stellung der Erde und der anderen Planeten für jeden beliebigen Zeitpunkt vorauszusagen, wir möchten das Datum und die Dauer der nächsten Sonnenfinsternis wie auch viele andere astronomische Ereignisse im voraus bestimmen können. All dies ist in der Tat möglich, aber nicht aufgrund unseres ersten Schlüssels allein, sondern wir brauchen dazu außer der Kenntnis der Richtung der Kraft auch ihren Betrag, ihre Größe. Es war Newton, der die glückliche Inspiration hier hatte. Nach seinem *Gesetz der Gravitation* hängt die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern auf einfache Weise von ihrem gegenseitigen Abstand ab. Sie wird mit zunehmendem Abstand kleiner; genauer gesprochen, sie wird $2 \times 2 = 4$ mal kleiner, wenn der Abstand verdoppelt, $3 \times 3 = 9$ mal kleiner, wenn der Abstand verdreifacht wird, und so weiter.

Wir sehen somit, daß es uns im Fall der Gravitationskraft gelungen ist, in einfacher Weise die Abhängigkeit der Kraft vom Abstand zwischen den bewegten Körpern auszudrücken. Ähnlich gehen wir in allen anderen Fällen vor, wo Kräfte verschiedener

Art, z. B. elektrische, magnetische usw., wirken. Wir versuchen, einen einfachen Ausdruck für die Kraft aufzustellen. Solch ein Ausdruck ist nur dann gerechtfertigt, wenn die daraus gezogenen Folgerungen durch das Experiment bestätigt werden.

Aber die Kenntnis der Gravitationskraft allein ist zur Beschreibung der Planetenbewegung nicht ausreichend. Wir haben gesehen, daß die Vektoren der Kraft und der Bewegungsänderung für irgendein kurzes Zeitintervall dieselbe Richtung haben; wir müssen Newton einen Schritt weiter folgen und eine einfache Beziehung zwischen ihren Längen annehmen. Vorausgesetzt, daß alle anderen Bedingungen dieselben sind, d. h. daß wir denselben sich bewegend Körper und gleiche Zeitabschnitte betrachten, so ist nach Newton die Änderung der Bewegung proportional der Kraft.

Es sind also genau zwei ergänzende Vermutungen erforderlich, um quantitative Schlüsse hinsichtlich der Bewegung der Planeten ziehen zu können. Die eine Vermutung ist allgemeinen Charakters und gibt die Beziehung zwischen Kraft und Bewegungsänderung an. Die andere ist eine spezielle und drückt die genaue Abhängigkeit der bestimmten Art von Kraft aus, welche sich auf den Abstand zwischen den Körpern bezieht. Die erste wird durch Newtons allgemeines Bewegungsgesetz, die zweite durch sein Gravita-

tionsgesetz geliefert. Beide zusammen bestimmen die Bewegung. Dies kann durch die folgende, etwas ungeschickt erscheinende Betrachtung klargemacht werden. Wir nehmen an, daß zu einer gegebenen Zeit die Lage und Geschwindigkeit eines Planeten bestimmt werden kann, und daß die auf ihn wirkenden Kräfte bekannt seien. Dann können wir nach Newtons Gesetz die Änderung der Bewegung während eines kurzen Zeitintervalls bestimmen. Aus der bekannten anfänglichen Bewegung und seiner Änderung können wir die Bewegung und Lage des Planeten für das Ende des Zeitintervalls finden. Durch fortgesetzte Wiederholung dieses Prozesses kann die ganze Bahn der Bewegung ohne weitere Zuhilfenahme von Beobachtungsdaten verfolgt werden. Dies ist im Prinzip der Weg, auf dem die Mechanik den Lauf eines bewegten Körpers vorhersagt, aber die Methode, wie sie hier gezeigt wurde, ist in dieser Art kaum praktisch durchführbar. Ein solches Schritt-für-Schritt-Verfahren wäre sowohl außerordentlich mühselig als auch ungenau. Glücklicherweise sind wir keineswegs darauf angewiesen; die Mathematik liefert einen abgekürzten Weg und ermöglicht eine genaue Beschreibung der Bewegung mit viel weniger Tinte, als wir für einen einzigen Satz brauchen. Die auf diesem Wege erreichten Schlußfolgerungen können durch Beobachtungen unmittelbar geprüft werden.

Dieselbe Art von äußerer Kraft finden wir in der Bewegung eines fallenden Steines wie im Kreisen des Mondes in seiner Bahn, nämlich diejenige der Erdanziehung auf materielle Körper. Newton erkannte, daß die Bewegung von fallenden Steinen, des Mondes und der Planeten nur spezielle Kundgebungen einer zwischen zwei beliebigen Körpern wirkenden universellen Gravitationskraft seien. In einfachen Fällen kann die Bewegung mit Hilfe der Mathematik beschrieben und vorausgesagt werden. In weiteren und außerordentlich komplizierten Fällen, bei denen die Wirkungen vieler Körper aufeinander in Erscheinung treten, ist eine mathematische Beschreibung nicht so einfach, doch bleiben die fundamentalen Prinzipien immer dieselben.

Wir finden die Folgerungen, zu denen wir beim Verfolgen unserer ersten Schlüssel gelangt sind, in der Bewegung eines geworfenen Steins, in der Bewegung des Mondes, der Erde und der Planeten bestätigt.

Es ist tatsächlich unser ganzes System von Vermutungen, das durch Experimente entweder bewiesen oder widerlegt werden muß. Es läßt sich nicht eine einzelne Annahme zum Zweck einer speziellen Prüfung isolieren. Im Fall der Bewegung der Planeten um die Sonne stellt sich heraus, daß sich das System der Mechanik glänzend bewährt. Nichtsdestoweniger können wir uns vorstellen, daß ein anderes, auf an-

deren Annahmen beruhendes System ebenso zufriedenstellende Resultate liefern würde.

Physikalische Begriffe sind freie Schöpfungen des menschlichen Geistes und nicht, wie sehr es auch scheinen mag, durch die äußere Umwelt eindeutig bestimmt. In unserem Bemühen, die Wirklichkeit zu begreifen, gleichen wir etwas dem Mann, der den Mechanismus einer geschlossenen Uhr zu verstehen sucht. Er sieht das Zifferblatt und die sich bewegendem Zeiger, hört die Uhr sogar ticken, aber er besitzt keine Mittel, sie zu öffnen. Falls er erfinderisch ist, kann er sich irgendein Bild von dem Mechanismus machen, das alle die Erscheinungen, die er beobachtet, erklärt, aber er kann niemals ganz sicher sein, daß sein Bild das einzige ist, das seine Beobachtungen beschreiben kann. Er wird sein Bild nie mit dem wirklichen Mechanismus vergleichen können, und er kann sich nicht einmal die Möglichkeit oder den Sinn eines solchen Vergleiches vorstellen. Aber er ist davon überzeugt, daß sein Bild von der Wirklichkeit mit zunehmender Kenntnis immer einfacher wird und ihn in den Stand setzen wird, weitere und weitere Gebiete seiner Sinneswahrnehmungen zu erklären. Er kann auch an die Existenz der idealen Grenze der Erkenntnis glauben und daß sich der menschliche Geist ihr nähert. Diese ideale Grenze kann er die objektive Wahrheit nennen.

Ein Schlüssel bleibt übrig

Studiert man Mechanik, so bekommt man zuerst den Eindruck, als wenn alles auf diesem Gebiet der Wissenschaft erklärt, einfach und für alle Zeiten entschieden wäre. Man würde kaum die Existenz eines wichtigen Schlüssels vermuten, den niemand für 300 Jahre bemerkt hat. Der vernachlässigte Schlüssel steht mit einem der fundamentalen Begriffe der Mechanik, mit dem der *Masse*, in Beziehung.

Kehren wir wieder zu dem einfachen idealisierten Experiment des Wagens auf einer vollkommen glatten Ebene zurück. Befindet sich der Wagen ursprünglich in Ruhe und bekommt dann einen Stoß, so bewegt er sich danach mit einer gewissen Geschwindigkeit gleichförmig weiter. Stellen wir uns vor, daß die Wirkung der Kraft beliebig häufig wiederholt werden kann, d.h. daß der Vorgang des Stoßens sich jedesmal in derselben Weise abspielen und dieselbe Kraft auf denselben Wagen ausgeübt werden möge. Wie oft auch das Experiment wiederholt werden mag, die Endgeschwindigkeit des Wagens ist immer dieselbe. Was geschieht aber, wenn das Experiment abgeändert wird, wenn der Wagen zunächst leer war und nun beladen ist? Der beladene Wagen wird eine kleinere Endgeschwindigkeit haben als der leere. Der Schluß lautet daher: Wirkt dieselbe Kraft auf

zwei verschiedene Körper, die sich beide ursprünglich in Ruhe befanden, so sind die resultierenden Geschwindigkeiten nicht dieselben. Wir stellen fest, daß die Geschwindigkeit von der Masse des Körpers abhängt, und zwar ist die Geschwindigkeit um so kleiner, je größer die Masse ist.

Wir wissen daher, wenigstens theoretisch, wie wir die Masse eines Körpers bestimmen können, oder genauer, wie viele Male eine Masse größer ist als eine andere. Wir haben zwei identische, auf zwei ruhende Massen wirkende Kräfte. Finden wir, daß die Geschwindigkeit der ersten Masse 3mal größer ist als die der zweiten, so schließen wir, daß die erste Masse 3mal kleiner ist als die zweite. Dies ist natürlich kein sehr praktischer Weg, um die Massen verschiedener Körper zu vergleichen. Wir können uns aber vorstellen, daß wir die Bestimmung auf diese oder eine andere, ebenfalls auf die Anwendung des Trägheitsgesetzes beruhende Weise durchgeführt haben.

Wie bestimmen wir im täglichen Leben die Masse eines Körpers? Natürlich nicht in der gerade angegebenen Art. Jedermann weiß die korrekte Antwort: Wir tun es, indem wir den Körper auf einer Waage wiegen.

Diskutieren wir diese beiden verschiedenen Weisen der Bestimmung einer Masse etwas genauer.

Das erste Experiment hatte nicht das geringste mit Gravitation, der Anziehung der Erde, zu tun. Der Wagen bewegt sich nach dem Stoß auf einer vollkommen glatten und horizontalen Ebene. Die Gravitationskraft, die den Wagen auf der Ebene zu bleiben zwingt, ändert sich nicht und spielt bei der Bestimmung der Masse keine Rolle. Beim Wiegen sind die Verhältnisse ganz anders. Wir könnten niemals eine Waage gebrauchen, wenn die Erde nicht die Körper anziehen würde, wenn Gravitation nicht existierte. Der Unterschied zwischen den beiden Methoden besteht darin, daß die erste nichts mit der Gravitation zu tun hat, die zweite aber wesentlich auf ihrer Existenz beruht.

Wir fragen uns: Wenn wir das Verhältnis zweier Massen nach den beiden eben beschriebenen Weisen bestimmen, erhalten wir dann beide Male das gleiche Ergebnis? Die vom Experiment gegebene Antwort ist eindeutig. Die Resultate sind genau die gleichen! Dieses Resultat konnte nicht vorausgesehen werden; es beruht auf Beobachtung und nicht auf vernunftgemäßem Denken. Nennen wir zur Vereinfachung die auf die erste Weise bestimmte Masse die *Trägheitsmasse* und die auf die zweite Weise bestimmte die *Gravitations- oder schwere Masse*. In unserer Welt sind sie gleich, wir können uns aber sehr gut vorstellen, daß dies durchaus nicht der Fall zu sein braucht.

Eine andere Frage stellt sich sofort ein: Ist diese Identität der beiden Arten von Massen rein zufällig, oder hat sie eine tiefere Bedeutung? Die von der klassischen Physik gegebene Antwort lautet: Die Identität der beiden Massen ist zufällig, und es sollte keine tiefere Bedeutung daran geknüpft werden. Die Antwort der modernen Physik ist genau die entgegengesetzte: Die Identität der beiden Massen ist fundamental und liefert einen neuen und wesentlichen Schlüssel zu einem tieferen Verständnis der Wirklichkeit. Dies war in der Tat einer der wichtigsten Schlüssel, der zu der Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie geführt hat.

Eine Detektivgeschichte scheint von geringer Güte zu sein, wenn sie seltsame Ereignisse als Zufälle erklärt. Eine nach einem rationellen Plan verlaufende Geschichte ist sicherlich befriedigender. Auf genau dieselbe Weise ist eine Theorie, die eine Erklärung für die Identität der Gravitations- und Trägheitsmasse bietet, einer Theorie, welche ihre Identität als zufällig interpretiert, überlegen, wobei natürlich vorausgesetzt werden muß, daß beide Theorien mit den beobachteten Tatsachen in gleich guter Weise übereinstimmen.

Da diese Identität von Trägheits- und Gravitationsmasse für die Formulierung der Relativitätstheorie von fundamentaler Bedeutung war, möge das

Problem hier etwas näher untersucht werden. Welche Experimente liefern einen überzeugenden Beweis dafür, daß die beiden Massen dieselben sind? Die Antwort liegt in Galileis altem Versuch, bei dem verschiedene Massen von einem Turm fallen gelassen werden. Galilei beobachtete, daß die Zeit, die für den Fall erforderlich ist, immer dieselbe ist, daß die Bewegung eines Körpers nicht von seiner Masse abhängt. Um dieses einfache, aber höchst wichtige experimentelle Resultat mit der Identität der beiden Massen in Zusammenhang zu bringen, ist ein ziemlich komplizierter Gedankengang notwendig.

Ein ruhender Körper gibt der Wirkung einer äußeren Kraft nach, bewegt sich und erreicht eine gewisse Geschwindigkeit. Gemäß seiner Trägheitsmasse gibt er mehr oder weniger leicht nach, indem er sich der Bewegung stärker widersetzt, wenn seine Masse groß ist, als wenn sie klein ist. Indem wir jeden Anspruch auf Strenge aufgeben, können wir sagen: Die Bereitwilligkeit, mit der ein Körper auf den Ruf einer äußeren Kraft antwortet, hängt von seiner Trägheitsmasse ab. Wenn es wahr wäre, daß die Erde alle Körper mit derselben Kraft anzöge, so würde der Körper mit der größten Trägheitsmasse langsamer fallen als alle anderen. Dies ist aber nicht der Fall: Alle Körper fallen in gleicher Weise. Dies bedeutet, daß die Kraft, mit der die Erde verschiedene Massen

anzieht, verschieden sein muß. Die Erde zieht aber einen Stein mit der Gravitationskraft an, ohne dabei etwas über seine Trägheitsmasse zu wissen. Die ›ruhende‹ Kraft der Erde hängt von der Gravitationsmasse ab. Die ›antwortende‹ Bewegung des Steins hängt von der Trägheitsmasse ab. Da die ›antwortende‹ Bewegung immer die gleiche ist – alle Körper aus gleicher Höhe fallen in gleichen Zeitabschnitten zur Erde –, muß geschlossen werden, daß Gravitationsmasse und Trägheitsmasse gleich sind.

Etwas pedantischer formuliert ein Physiker dieselbe Folgerung so: Die Beschleunigung eines fallenden Körpers wächst proportional mit seiner Gravitationsmasse und nimmt proportional mit seiner Trägheitsmasse ab. Da alle fallenden Körper dieselbe konstante Beschleunigung erleiden, müssen die beiden Massen gleich sein.

In unserer großen rätselhaften Geschichte gibt es keine Probleme, die vollständig gelöst und auf alle Zeiten entschieden wären. Nach 300 Jahren mußten wir auf das Anfangsproblem der Bewegung zurückkehren, hatten wir das Verfahren der Untersuchung zu revidieren und fanden Schlüssel, die übersehen worden waren, wodurch wir zu einem neuen Bild des uns umgebenden Universums gelangten.

Ist Wärme eine Substanz?

Wir beginnen hier einen neuen, aus dem Gebiet der Wärmephänomene entstammenden Schlüssel zu verfolgen. Es ist unmöglich, die Wissenschaft in getrennte und voneinander unabhängige Abschnitte zu teilen. Wir werden in der Tat bald herausfinden, daß die hier eingeführten neuen Begriffe mit den uns bereits vertrauten zusammenhängen. Eine in einem bestimmten Zweig der Wissenschaft entwickelte Gedankenrichtung kann sehr oft auch zur Beschreibung von Phänomenen ganz verschieden Charakters Anwendung finden. Bei diesem Prozeß werden die ursprünglichen Begriffe häufig so modifiziert, daß das Verständnis derjenigen Phänomene, aus denen die Begriffe entwickelt wurden, als auch der neuen, auf die sie angewandt werden, vertieft wird.

Die fundamentalsten Begriffe zur Beschreibung der Wärmevorgänge sind diejenigen der *Temperatur* und der *Wärme*. Es beanspruchte im Lauf der Entwicklung der Wissenschaft eine unglaublich lange Zeit, bis diese Begriffe klar unterschieden wurden. Sobald dieser Unterschied aber einmal deutlich erkannt worden war, nahm die Entwicklung schnellen Fortschritt. Obwohl diese Begriffe heutzutage allgemein bekannt sind, wollen wir sie noch einmal genau untersuchen und dabei ihre Unterschiede hervorheben.

Unser Gefühlssinn sagt uns ganz deutlich, daß ein Körper warm ist und ein anderer kalt. Aber dies ist ein rein qualitatives Kriterium, das nicht zu einer quantitativen Beschreibung ausreicht und überdies manchmal zweideutig ist. Wir sehen dies an einem wohlbekannten Experiment: Drei Gefäße enthalten beziehungsweise kaltes, warmes und heißes Wasser. Tauchen wir die eine Hand in das heiße Wasser und die andere in das kalte, so erhalten wir von der ersten Hand das Signal heiß und von der zweiten das Signal kalt. Wenn wir dann beide Hände in dasselbe warme Wasser halten, so werden uns zwei widerspruchsvolle Signale, je eins von jeder Hand, zugesandt. Aus denselben Gründen würden die Meinungen eines Eskimos und eines Eingeborenen eines äquatorialen Landes, die sich an einem Frühlingstag in Amsterdam treffen, darüber auseinandergehen, ob das Wetter warm oder kalt sei. Wir schlichten alle solche Fragen durch den Gebrauch eines Thermometers, ein Instrument, das in seiner primitiven Form von Galilei ausgedacht wurde. Auch hier wieder dieser vertraute Name! Der Gebrauch eines Thermometers beruht auf einigen offenkundigen physikalischen Annahmen. Wir rufen sie ins Gedächtnis zurück, indem wir einige Zeilen aus Vorlesungen zitieren, die vor ungefähr 150 Jahren von Black gehalten wurden, und der einen großen Teil zur Klärung der Schwierigkeiten,

die mit den beiden Begriffen Wärme und Temperatur verbunden sind, beigetragen hat:

»Durch den Gebrauch dieses Instruments haben wir gelernt, daß, wenn wir 1000 oder mehr verschiedene Arten von Materie nehmen, wie z. B. Metalle, Steine, Salze, Hölzer, Federn, Wolle, Wasser und eine Menge anderer Flüssigkeiten, die alle zunächst von verschiedenen *Wärmen* seien; und bringt man sie zusammen in dasselbe ungeheizte Zimmer, in das keine Sonne scheint, so wird die Wärme von den heißeren dieser Körper auf die kälteren übertragen, einige Stunden oder vielleicht den Lauf eines Tages dazu beanspruchend; am Ende dieser Zeit, wenn wir alle Körper der Reihe nach mit einem Thermometer messen, so wird dieses auf genau denselben Grad zeigen.«

Das kursiv geschriebene Wort *Wärme* sollte, gemäß der heutigen Bezeichnung, durch das Wort *Temperatur* ersetzt werden.

Ein Arzt, der das Thermometer aus dem Mund eines Kranken nimmt, mag folgendermaßen schließen: »Das Thermometer zeigt seine eigene Temperatur durch die Länge seiner Quecksilbersäule an. Wir nehmen an, daß die Länge der Quecksilbersäule

proportional mit der Erhöhung der Temperatur zunimmt. Das Thermometer war aber während einiger Minuten mit meinem Patienten in Berührung, so daß beide, Patient und Thermometer, gleiche Temperatur haben. Ich folgere also, daß die Temperatur meines Patienten diejenige ist, die das Thermometer anzeigt.« Der Doktor handelt wahrscheinlich mechanisch, wendet aber, ohne darüber nachzudenken, physikalische Prinzipien an.

Enthält aber das Thermometer denselben Betrag Wärme wie der Körper des Kranken? Sicherlich nicht. Würde man annehmen, daß zwei Körper dieselben Quantitäten Wärme enthielten, bloß weil ihre Temperaturen gleich sind, so würde dies, wie Black bemerkte:

»einen sehr flüchtigen Blick auf den Gegenstand werfen heißen. Es würde die Wärmemengen in verschiedenen Körpern mit ihrer allgemeinen Stärke und Intensität zu verwechseln bedeuten, obgleich es offensichtlich ist, daß dies zwei verschiedene Dinge sind, und immer unterschieden werden sollten, wenn wir an die Verteilung der Wärme denken.«

Ein Verständnis dieses Unterschiedes kann durch die Betrachtung eines sehr einfachen Versuches erlangt

werden. Ein Pfund Wasser benötigt eine gewisse Zeit, um mit Hilfe einer Gasflamme von Zimmertemperatur auf den Siedepunkt erwärmt zu werden. Eine viel längere Zeit ist erforderlich, um z.B. 12 Pfund Wasser in demselben Kessel über derselben Flamme zu erwärmen. Wir interpretieren diese Tatsache als ein Anzeichen dafür, daß jetzt mehr von einem ›Etwas‹ gebraucht wird, und wir nennen dieses ›Etwas‹ – *Wärme*.

Ein weiterer wichtiger Begriff, der der *spezifischen Wärme*, wird durch die Betrachtung des folgenden Experiments gewonnen: Ein Gefäß möge ein Pfund Wasser und ein anderes ähnliches Gefäß ein Pfund Quecksilber enthalten. Beide werden auf gleiche Weise erwärmt. Es zeigt sich, daß das Quecksilber viel schneller als das Wasser heiß wird, woraus sich ergibt, daß es weniger ›Wärme‹ benötigt, um seine Temperatur um ein Grad zu erhöhen. Im allgemeinen sind verschiedene Mengen von ›Wärme‹ nötig, um die Temperaturen von verschiedenen Substanzen wie Wasser, Quecksilber, Eisen, Kupfer, Holz usw. und von derselben Masse um ein Grad, z. B. von 14 auf 15 Grad Celsius, zu erhöhen. Wir sagen, daß jede Substanz ihre individuelle *Wärmekapazität* oder *spezifische Wärme* besitzt.

Nachdem wir so den Begriff der Wärme gewonnen haben, können wir jetzt darangehen, seine Na-

tur näher zu untersuchen. Wir mögen zwei Körper haben, von denen der eine heiß, der andere kalt, oder genauer gesagt, der eine von höherer Temperatur als der andere sei. Wir bringen sie in Berührung und halten sie von allen äußeren Einflüssen frei. Wir wissen, daß sie allmählich gleiche Temperaturen besitzen werden. Wie geschieht das? Was ereignet sich in der Zeit zwischen dem Augenblick der gegenseitigen Berührung und des Erlangens gleicher Temperatur? Es drängt sich sofort das Bild auf, daß die Wärme von dem einen Körper nach dem anderen ›fließt‹, wie etwa Wasser von einem höheren Niveau nach einem tieferen. Dies Bild scheint trotz seiner Primitivität vielen Tatsachen zu entsprechen, so daß die Analogie folgendermaßen aussieht:

Wasser – Wärme

höheres Niveau – höhere Temperatur

niedrigeres Niveau – niedrigere Temperatur

Das Fließen hält so lange an, bis beide Niveaus, d.h. beide Temperaturen, gleich sind. Diese naive Ansicht kann durch quantitative Betrachtungen nützlicher gestaltet werden. Wenn bekannte Mengen von Wasser und Alkohol verschiedener, aber bekannter Temperaturen gemischt werden, so liefert eine Kenntnis der spezifischen Wärmen die Voraussage der End-

temperatur der Mischung. Umgekehrt, eine Messung der Endtemperatur würde uns mit Hilfe von etwas Algebra in den Stand setzen, das Verhältnis der spezifischen Wärmen zu finden.

Wir erkennen in dem hier erscheinenden Begriff der Wärme eine Ähnlichkeit mit anderen physikalischen Begriffen. Wärme ist gemäß unserer Anschauung eine Substanz, so wie es die Masse in der Mechanik war. Ihre Menge mag sich verändern oder nicht, wie gespartes oder verausgabtes Geld. Der Geldbetrag in einem Geldschrank bleibt so lange ungeändert, als der Geldschrank verschlossen bleibt, und dasselbe gilt für den Betrag der Masse und der Wärme eines isolierten Körpers. Die ideale Thermosflasche entspricht einem solchen Geldschrank. Weiterhin: Gerade so, wie die Masse eines isolierten Systems selbst beim Eintreten chemischer Reaktionen ungeändert bleibt, so bleibt auch die Wärme, wenn sie von einem Körper zu einem anderen überfließt, erhalten. Selbst wenn Wärme nicht zur Erhöhung der Temperatur eines Körpers gebraucht wird, wie z. B. beim Schmelzen von Eis oder bei der Verwandlung von Wasser in Dampf, können wir sie uns noch als Substanz vorstellen und sie beim Gefrierenlassen des Wassers oder Verflüssigen des Dampfes zurückgewinnen. Die alten Namen, latente Schmelzwärme oder latente Verdampfungswärme, deuten darauf hin, daß diese Be-

griffe aus dem Bild der Wärme als Substanz abgeleitet wurden. Latente Wärme ist zeitweise verborgen wie das in einem Geldschrank aufbewahrte Geld, doch der Benutzung zugänglich, sobald man die Schlüsselkombination des Schlosses kennt.

Wärme ist aber sicherlich nicht in demselben Sinne eine Substanz wie die Masse. Masse kann mit Hilfe einer Waage nachgewiesen werden.

Wie steht es aber damit mit der Wärme? Das Experiment zeigt, daß dies nicht der Fall ist. Wenn Wärme überhaupt eine Substanz ist, so ist sie gewichtslos. Die ›Wärme-Substanz‹ wurde gewöhnlich *kalorisch* genannt und stellt unsere erste Bekanntschaft mit einer ganzen Familie von gewichtslosen Substanzen dar. Später werden wir Gelegenheit haben, die Geschichte dieser Familie, ihren Aufstieg und Untergang, zu verfolgen. Es genügt augenblicklich, die Geburt dieses besonderen Mitgliedes zu verzeichnen.

Der Zweck einer jeden physikalischen Theorie ist, einen möglichst umfassenden Komplex von Erscheinungen zu erklären. Dieser Standpunkt ist insoweit gerechtfertigt, als Phänomene hierdurch wirklich verständlich gemacht werden. Wir haben gesehen, daß die Substanztheorie viele Erscheinungen der Wärmevorgänge erklärt. Es wird sich jedoch bald herausstellen, daß auch dies wiederum ein falscher Schlüssel ist, daß Wärme nicht als Substanz betrachtet werden

kann – selbst nicht als gewichtslose. Dies erkennen wir, wenn wir an einige einfache Experimente denken, die den Beginn der Zivilisation kennzeichnen.

Wir denken von einer Substanz als etwas, das weder zerstört noch erzeugt werden kann. Die primitiven Völker stellten jedoch durch Reibung genügend Wärme her, um Holz zum Brennen zu bringen. Beispiele der Erwärmung durch Reibung sind tatsächlich zu zahlreich und zu bekannt, um angeführt werden zu müssen. In allen diesen Fällen wird eine Wärmemenge erzeugt, eine Tatsache, die schwer nach der Substanztheorie zu erklären ist. Natürlich würde ein Vertreter dieser Theorie Gründe zu einer Erklärung dieser Tatsache beibringen. Er würde ungefähr so überlegen: »Die Substanztheorie kann die scheinbare Bildung von Wärme erklären. Nimm das einfachste Beispiel zweier aneinander geriebener Holzstückchen. Das Reiben ist ein Prozeß, der das Holz beeinflußt und seine Eigenschaften ändert. Es ist sehr leicht möglich, daß die Eigenschaften so geändert werden, daß eine unveränderte Menge Wärme in Erscheinung tritt, um eine höhere Temperatur zu verursachen. Das einzige, was wir beobachten, ist schließlich nur die Erhöhung der Temperatur. Es ist möglich, daß die Reibung die spezifische Wärme des Holzes und nicht den Gesamtbetrag der Wärme ändert.«

An dieser Stelle der Diskussion wäre es nutzlos, mit dem Verteidiger der Substanztheorie weiter zu argumentieren, da wir an einem Punkt angelangt sind, der nur durch das Experiment entschieden werden kann. Stellen wir uns zwei identische Stücke Holz vor, und nehmen wir an, daß gleiche Temperaturänderungen durch zwei verschiedene Methoden hervorgerufen werden, z.B. in dem einen Fall durch Reibung, in dem anderen durch Berührung mit einem Heizkörper. Wenn die beiden Stücke bei der neuen Temperatur dieselben spezifischen Wärmen haben, so muß die ganze Substanztheorie zusammenbrechen. Es gibt viele einfache Methoden, um die spezifische Wärme zu bestimmen, und das Schicksal der Theorie hängt von dem Ergebnis gerade solcher Messungen ab. Ein Experiment, das imstande ist, eine Entscheidung über Tod und Leben einer Theorie zu fällen, kommt in der Entwicklung der Physik häufig vor und wird *experimentum crucis* oder *entscheidendes Experiment* genannt.

Der entscheidende Wert eines Experiments wird nur durch die Art der Fragestellung offensichtlich, und nur eine Theorie der Erscheinungen kann durch sie auf die Probe gestellt werden. Die Bestimmungen der spezifischen Wärmen zweier Körper derselben Art bei gleicher, durch Reibung bzw. Wärmeleitung erworbener Temperatur ist ein typisches Beispiel ei-

nes entscheidenden Experiments. Dies Experiment wurde vor ungefähr 150 Jahren von Rumford ausgeführt und versetzte der Substanztheorie der Wärme den Todesstoß. Ein Auszug aus Rumfords eigener Beschreibung erzählt den Vorgang:

»Es kommt häufig vor, daß bei den gewöhnlichen Angelegenheiten und Beschäftigungen des täglichen Lebens sich Gelegenheiten zur Kontemplation über einige der merkwürdigsten Operationen der Natur von selbst darbieten, und sehr interessante philosophische Experimente mögen oft fast ohne Mühe und Ausgaben mit Hilfe der für bloß mechanische Zwecke der Künste und Fabrikationen ersonnenen Maschinen angestellt werden.

Ich habe häufig Gelegenheit gehabt, diese Beobachtung anzustellen; und ich bin überzeugt, daß die Angewohnheit, die Augen offen zu halten für jedes Ding, das in dem gewöhnlichen Laufe des Lebensgeschäftes vor sich geht, häufiger, und zwar wie durch Zufall, oder in den spielerischen Exkursionen der auf die gewöhnlichsten Ereignisse gerichteten Einbildungskraft, zu nützlichen Zweifeln und sinnvollen Plänen zur Erforschung und Verbesserung geführt hat, als alle die intensiveren Meditationen

der Philosophen, die sie in besonderen, zum Zwecke des Studiums beiseite gesetzten Stunden ausführen.

Während ich in der letzten Zeit damit beschäftigt war, in den Werkstätten des militärischen Arsenal in München das Bohren der Kanonenrohre zu beaufsichtigen, fiel es mir auf, eine wie sehr beträchtliche Wärme ein Messinggeschütz in einer kurzen Zeit während des Bohrens erwirbt; und wie eine noch intensivere Wärme (viel größer als die des kochenden Wassers, wie ich durch ein Experiment herausfand) die durch den Bohrer davon abgetrennten Metallspäne erwerben.

Woher kommt die in dem oben erwähnten mechanischen Vorgang tatsächlich erzeugte Wärme? Wird sie von den Metallspänen geliefert, die durch den Bohrer von der festen Masse des Metalls abgetrennt werden?

Wenn das der Fall wäre, dann sollte gemäß der modernen Lehre der latenten Wärme, und der kalorischen, die Kapazität nicht nur geändert werden, sondern die eingetretenen Änderungen sollten genügend groß sein, um die ganze erzeugte Wärme zu erklären.

Aber eine solche Änderung war nicht eingetreten, denn ich fand, indem ich dem Ge-

wicht nach gleiche Mengen dieser Späne und von demselben Block mit einer feinen Säge abgetrennte Stückchen von gleicher Temperatur (derjenigen kochenden Wassers) in gleiche Mengen kalten Wassers (d. h. von einer Temperatur von $59\frac{1}{2}^{\circ}$ Fahrenheit) tauchte, daß die Menge des Wassers, in welche die Späne getaucht waren, aller Erscheinung nach weder weniger noch mehr erwärmt wurde als der andere Teil, in den die Metallstückchen getaucht waren.«

Schließlich erreichen wir seine Schlußfolgerung:

»Und beim Überlegen dieses Gegenstandes müssen wir nicht den höchst bemerkenswerten Umstand zu beachten vergessen, daß die durch Reibung erzeugte Wärmequelle in diesen Experimenten offenbar *unerschöpflich* zu sein scheint.

Es ist kaum notwendig hinzuzufügen, daß irgend etwas, das ein *isolierter* Körper, oder ein System von Körpern, fortsetzen kann, *ohne Begrenzung* zu liefern, unmöglich *materielle Substanz* sein kann; und es scheint mir außerordentlich schwierig, wenn nicht ganz unmöglich, sich irgendeine bestimmte Ansicht

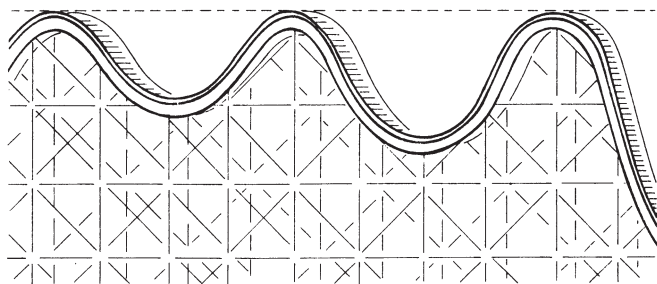
von etwas zu bilden, das fähig wäre, angeregt und übertragen zu werden in der Weise, wie in diesen Experimenten die Wärme angeregt und übertragen wurde, ausgenommen es sei *Bewegung*.«

So sehen wir den Zusammenbruch der alten Theorie, oder genauer genommen, wir sehen, daß die Substanztheorie auf Probleme des Wärmeflusses beschränkt ist. Lassen wir daher für einen Augenblick das Problem der Wärme beiseite und kehren wir, wie Rumford zu verstehen gab, wieder zur Mechanik zurück.

Die Berg-und-Tal-Bahn

Betrachten wir dieses populäre Vergnügungsmittel einmal von der physikalischen Seite. Ein kleiner Wagen wird auf den höchsten Punkt seiner Bahn gebracht. Freigelassen, beginnt er wegen der Gravitationskraft herunterzurollen und fährt dann längs einer phantastisch gekrümmten Kurve bergauf und bergab, wobei er durch die plötzlichen Änderungen seiner Bewegung den Insassen ein aufregendes Vergnügen bereitet. Jede Berg-und-Tal-Bahn besitzt ihren höchsten Punkt, an dem sie beginnt. Niemals während des

ganzen Verlaufes der Bewegung wird der Wagen wieder dieselbe Höhe erreichen. Eine vollständige Beschreibung der Bewegung würde sehr kompliziert sein. Einerseits besteht das Problem aus den mechanischen Vorgängen der Änderung der Bewegung und des Ortes im Verlauf der Zeit. Andererseits gibt es Reibung und daher Wärmezeugung in den Schienen und in den Achsen der Räder. Der einzige Grund zu dieser Einteilung des physikalischen Vorganges in zwei getrennte Gesichtspunkte besteht darin, den Gebrauch der früher diskutierten Begriffe zu ermöglichen. Die Teilung führt zu einem idealisierten Experiment, weil ein physikalischer Prozeß, bei dem nur der mechanische Gesichtspunkt in Erscheinung tritt, nur gedacht, aber niemals verwirklicht werden kann. Für das idealisierte Experiment können wir uns vorstellen, daß irgend jemand gelernt hat, die Reibung, die jede Bewegung begleitet, vollständig zu eliminieren. Er entschließt sich, seine Erfindung für die Kon-



struktion einer Berg-und-Tal-Bahn zu verwenden und muß nun herausfinden, wie sie gebaut werden muß. Der Wagen soll von einem Ausgangspunkt von beispielsweise 30 m Höhe herauf- und herunterfahren. Durch Ausprobieren findet er bald eine einfache Regel: Er mag den Schienenweg legen wie er will, nur darf kein Punkt der Bahn höher als der Ausgangspunkt liegen. Wenn der losgelassene Wagen bis zum Ende der Bahn gelangen soll, so mag seine Höhe beliebig häufig 30 m erreichen, er kann sie aber niemals überschreiten. Auf einer wirklichen Bahn kann ein Wagen die ursprüngliche Höhe wegen der Reibung nicht wieder erlangen, doch braucht sich unser hypothetischer Ingenieur um diesen Punkt nicht zu kümmern.

Betrachten wir die Bewegung des idealisierten Wagens auf der idealisierten Berg-und-Tal-Bahn, wie er vom Ausgangspunkt aus anfängt herunterzurollen. Während er sich bewegt, vermindert sich sein Abstand von der Erdoberfläche, aber seine Geschwindigkeit nimmt zu. Dieser Satz mag uns auf den ersten Blick an einen Satz aus einer Sprachunterrichtsstunde erinnern: »Ich habe keinen Bleistift, aber du hast 6 Orangen.« Der Satz ist jedoch nicht so einfältig. Es besteht kein Zusammenhang zwischen meinem Mangel an einem Bleistift und deinem Besitz von 6 Orangen, aber es gibt eine sehr reale Wechselbeziehung

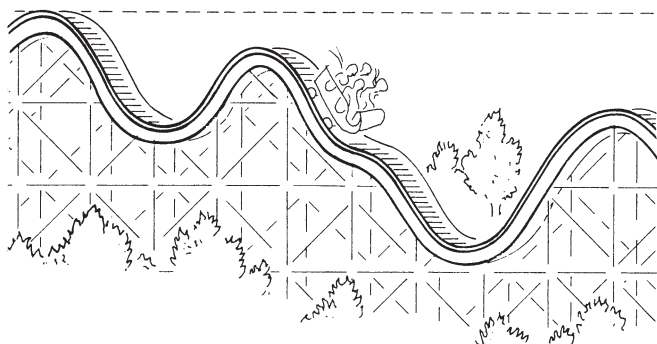
zwischen dem Abstand des Wagens von der Erde und seiner Geschwindigkeit. Wir können die Geschwindigkeit des Wagens in jedem Punkt berechnen, wenn wir wissen, wie hoch er sich über dem Erdboden befindet, doch wollen wir hier diese Aufgabe übergehen, da ihr quantitativer Charakter nur mit Hilfe mathematischer Formeln ausgedrückt werden kann.

Auf seinem höchsten Punkt hat der Wagen die Geschwindigkeit null und befindet sich 30 m über der Erdoberfläche. Diese Tatsache kann auch auf andere Weise ausgedrückt werden. Auf seinem höchsten Punkt besitzt der Wagen *potentielle Energie*, aber keine *kinetische Energie* oder Energie der Bewegung. An seinem niedrigsten Punkt hat er die größte kinetische Energie und überhaupt keine potentielle Energie. An allen dazwischenliegenden Stellen, wo er eine gewisse Geschwindigkeit besitzt und sich in einer gewissen Höhe befindet, hat der Wagen sowohl kinetische als auch potentielle Energie. Die potentielle Energie nimmt mit der Höhe zu, während die kinetische Energie mit wachsender Geschwindigkeit größer wird. Die Prinzipien der Mechanik genügen, um die Bewegung zu erklären. Zwei Ausdrücke für Energie treten in der mathematischen Beschreibung auf, jeder der beiden ändert sich, doch bleibt ihre Summe konstant. Es ist auf diese Weise möglich, die Begriffe der potentiellen Energie in Abhängigkeit vom

Ort und der kinetischen Energie in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit mathematisch streng zu formulieren. Die Einführung dieser beiden Namen ist natürlich willkürlich und nur durch die Bequemlichkeit gerechtfertigt. Die Summe der beiden Ausdrücke bleibt ungeändert und wird eine Bewegungskonstante genannt. Die Gesamtenergie, d.h. kinetische Energie plus potentielle Energie, verhält sich wie eine Substanz, z. B. Geld, das seinem Wert nach erhalten bleibt, aber ständig von einer Währung auf eine andere, z. B. von Dollar auf Pfund und zurück, gemäß eines wohl definierten Wechselkurses umgewechselt wird.

Bei einer wirklichen Berg-und-Tal-Bahn, bei der die Reibung den Wagen verhindert, seinen höchsten Ausgangspunkt wieder zu erreichen, besteht immer noch ein fortwährender Austausch zwischen kinetischer und potentieller Energie. Hier bleibt jedoch die Summe nicht mehr konstant, sondern wird allmählich kleiner. Ein wichtiger und mutiger Schritt ist jetzt noch nötig, um die mechanischen und Wärme-Aspekte der Bewegung in Beziehung zu bringen. Den Reichtum aus den Folgerungen und Verallgemeinerungen dieses Schrittes werden wir später erkennen.

Noch etwas anderes als kinetische und potentielle Energie ist jetzt im Spiel, nämlich die durch Reibung erzeugte Wärme. Entspricht diese Wärme der



Verringerung der mechanischen, d.h. der kinetischen und der potentiellen Energie? Eine neue Vermutung ist immanent. Wenn Wärme als eine Form der Energie angesehen werden kann, dann bleibt vielleicht die Summe aller drei, Wärme, kinetische und potentielle Energie, konstant. Nicht Wärme allein, sondern Wärme und andere Formen der Energie zusammen genommen sind wie eine Substanz unzerstörbar. Es ist so, als ob ein Mann sich selbst für das Umwechseln von Dollar in Pfund eine Kommission in Franc zahlen muß, wobei auch das Kommissionsgeld erhalten bleibt, so daß die Summe von Dollar, Pfund und Franc nach bestimmten Umwechsellkursen einen konstanten Betrag bedeutet.

Der Fortschritt der Wissenschaft hat die ältere Anschauung von der Wärme als Substanz zerstört. Wir versuchen den Begriff einer neuen Substanz, Energie, mit Wärme als eine ihrer Formen aufzustellen.

Der Umwechslungskurs

Vor weniger als 100 Jahren wurde der neue Schlüssel, der zu dem Begriff der Wärme als einer Form der Energie führte, von Meyer erraten und von Joule experimentell bestätigt. Es ist ein seltsames Zusammentreffen, daß nahezu alle fundamentalen Arbeiten über die Natur der Wärme von nicht-berufsmäßigen Physikern, die die Physik lediglich als ihr größtes Steckenpferd betrachteten, getan wurden. Wir nennen den vielseitigen Schotten Black, den deutschen Arzt Meyer und den großen amerikanischen Abenteurer Graf Rumford, der schließlich in Europa lebte und unter anderen Beschäftigungen auch Kriegsminister von Bayern wurde. Ferner gab es den englischen Brauer Joule, der in seiner freien Zeit einige der wichtigsten Experimente über die Erhaltung der Energie ausführte.

Joule verifizierte durch das Experiment die Vermutung, daß Wärme eine Form der Energie sei, und bestimmte die Umwandlungsrate. Es ist schon der Mühe wert, seine Resultate etwas näher zu betrachten.

Die kinetische und die potentielle Energie eines Systems bestimmen zusammen seine *mechanische* Energie. Im Fall der Berg-und-Tal-Bahn stellten wir die Vermutung auf, daß ein Teil der mechanischen Energie in Wärme verwandelt werde. Falls dies rich-

tig ist, so muß hier und bei allen ähnlichen Prozessen eine bestimmte *Umwandlungsrate* zwischen den beiden Energieformen bestehen. Dies ist streng genommen eine quantitative Frage, aber die Tatsache, daß eine gegebene Menge mechanischer Energie in eine gegebene Menge von Wärme umgewandelt werden kann, ist höchst wichtig. Es ist wünschenswert, diese Umwandlungsrate, d. h. wieviel Wärme wir aus einem gewissen Betrag mechanischer Energie erhalten, zu erkennen.

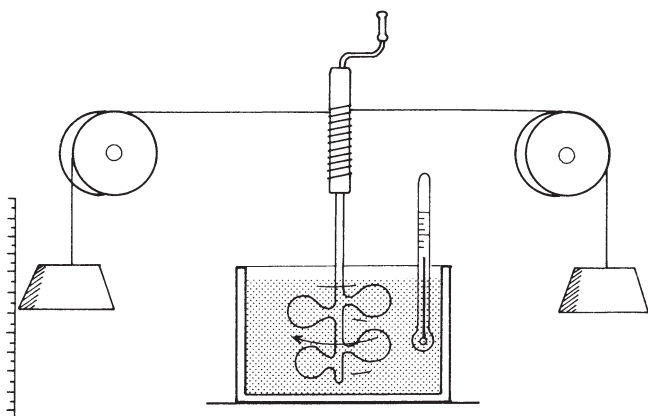
Die Bestimmung dieser Zahl war der Gegenstand der Jouleschen Untersuchungen. Der Mechanismus eines seiner Experimente ist sehr ähnlich demjenigen einer Uhr mit einem Gewicht. Das Aufziehen einer solchen Uhr besteht in dem Heben eines Gewichts, wodurch dem System potentielle Energie zugeführt wird. Wird die Uhr sonst in Ruhe gelassen, so kann sie als ein abgeschlossenes System betrachtet werden. Das Gewicht fällt allmählich, und die Uhr läuft. Nach Ablauf einer gewissen Zeit hat das Gewicht seinen niedrigsten Punkt erreicht, und die Uhr hört zu gehen auf. Was ist mit der Energie geschehen? Die potentielle Energie des Gewichtes hat sich in kinetische Energie des Mechanismus verwandelt und dann allmählich als Wärme verflüchtigt.

Eine geistreiche Änderung dieser Art von Mechanismus setzte Joule in den Stand, die verlorene Wär-

me zu messen und so die Umwandlungsrate zu bestimmen. In seinem Apparat trieb ein Gewicht ein in Wasser getauchtes Schaufelrad. Die potentielle Energie des Gewichtes wurde in kinetische Energie der beweglichen Teile und dann in Wärme verwandelt, welche die Temperatur des Wassers erhöhte. Joule maß diese Temperaturänderung und berechnete mit Hilfe der bekannten spezifischen Wärme des Wassers den absorbierten Wärmebetrag. Er faßte die Resultate vieler Versuche wie folgt zusammen:

- »1. Die Quantität der durch Reibung von festen oder flüssigen Körpern erzeugten Wärme ist immer proportional der Quantität der Kraft [mit Kraft meint Joule verausgabte Energie]; und
2. Die Quantität der Wärme, die fähig ist, die Temperatur von einem Pfund Wasser (im Vakuum gewogen und zwischen 55 und 60 Grad Fahrenheit genommen) um 1 Grad Fahrenheit zu erhöhen, erfordert zu ihrer Erzeugung den Verbrauch einer mechanischen Kraft, die durch das Fallen von 772 Pfund um 1 Fuß dargestellt wird.«

Mit anderen Worten, die potentielle Energie von 772 Pfund, die um 1 Fuß über den Erdboden gehoben



sind, ist für die Wärmemenge nötig, welche die Temperatur von einem Pfund Wasser von 55° Fahrenheit auf 56° Fahrenheit erhöht. Spätere Experimentatoren konnten die Genauigkeit etwas verbessern, aber das mechanische Äquivalent der Wärme ist im wesentlichen so groß, wie es Joule in seiner Pionierarbeit fand.

Sobald diese wichtige Aufgabe gelöst war, machte die Entwicklung rasche Fortschritte. Man erkannte bald, daß diese Arten der Energie, die mechanische Energie und die Wärme, nur zwei ihrer vielen Formen sind. Alles, was sich in eine dieser Formen umwandeln läßt, ist ebenfalls eine Form von Energie. Die von der Sonne emittierte Strahlung ist Energie, da ein großer Teil davon der Erde in Wärme übergeführt wird. Ein elektrischer Strom besitzt Energie, denn er erhitzt einen Draht oder dreht die Räder eines Motors. Kohle stellt chemische Energie dar, die

im Verbrennungsprozeß als Wärme befreit wird. Bei jedem Vorgang in der Natur wird eine Form von Energie in eine andere umgewandelt, und zwar immer nach einem wohlbestimmten Umwandlungskurs. In einem abgeschlossenen, d. h. von äußeren Einflüssen isolierten System wird die Energie bewahrt und verhält sich daher wie eine Substanz. Die Summe aller möglichen Formen der Energie in einem solchen System ist konstant, obgleich sich der Betrag einer beliebigen Art ändern mag. Sehen wir das ganze Universum als ein abgeschlossenes System an, so können wir stolz mit den Physikern des 19. Jahrhunderts verkünden, daß die Energie des Universums invariant ist, daß kein Teil davon jemals geschaffen oder zerstört werden kann.

Unsere beiden Begriffe der Substanz sind also *Materie* und *Energie*. Beide genügen Erhaltungssätzen: Ein isoliertes System kann weder seine Masse noch seine Gesamtenergie ändern. Materie besitzt Gewicht, aber Energie ist gewichtslos. Wir haben daher zwei verschiedene Begriffe und zwei Erhaltungssätze. Sollen diese Ideen weiter ernst genommen werden? Oder hat sich dieses scheinbar wohlbegründete Bild im Lichte neuerer Entwicklungen geändert? Ja, es hat sich geändert! Weitere Änderungen der beiden Begriffe sind mit der Relativitätstheorie verbunden. Wir werden auf diesen Punkt später zurückkommen.

Der philosophische Hintergrund

Die Resultate wissenschaftlicher Forschung zwingen sehr häufig zu einer Änderung der philosophischen Haltung zu Problemen, die weit über den beschränkten Bereich der eigentlichen Wissenschaft hinausgehen. Was ist das Ziel der Wissenschaft? Was wird von einer Theorie, welche versucht, die Natur zu beschreiben, verlangt? Solche Fragen überschreiten die Grenzen der Physik, doch sind sie aufs engste mit ihr verbunden, da die Wissenschaft das Fundament bildet, auf dem sie sich erheben. Philosophische Verallgemeinerungen müssen auf wissenschaftliche Resultate gegründet sein. Sind sie jedoch erst einmal formuliert und im großen Umfange angenommen, so beeinflussen sie sehr häufig die weitere Entwicklung des wissenschaftlichen Gedankensystems, indem sie auf eine bestimmte der verschiedenen möglichen Richtungen der Untersuchung hinweisen. Eine erfolgreiche Widersetzung angenommener Ansichten resultiert in unerwarteten und gänzlich verschiedenen Entwicklungen und wird eine Quelle neuer philosophischer Aspekte. Diese Bemerkungen klingen notwendigerweise unbestimmt und leer, solange sie nicht durch Beispiele aus der Geschichte der Physik belegt werden.

Wir wollen hier versuchen, die ersten philosophischen Ideen über das Ziel der Wissenschaft zu be-

schreiben. Diese Ideen beeinflussten in starkem Maße die Entwicklung der Physik bis vor weniger als hundert Jahren, als neue Beweisstücke, neue Tatsachen und Theorien, die einen neuen Hintergrund für die Wissenschaft abgaben, ihr Aufgeben als notwendig erscheinen ließen.

Während der ganzen Entwicklung der Wissenschaft, von der griechischen Philosophie bis zur modernen Physik, bemüht man sich ständig, die scheinbare Komplexität der Naturerscheinungen auf einige einfache fundamentale Ideen und Beziehungen zurückzuführen. Dies ist das Prinzip, welches jeder Naturphilosophie zugrunde liegt. Es fand bereits seinen Ausdruck in den Werken der Atomisten. Vor 23 Jahrhunderten schrieb Demokrit:

»Nach Übereinkommen ist süß süß, nach Übereinkommen ist bitter bitter, nach Übereinkommen ist heiß heiß, nach Übereinkommen ist kalt kalt, nach Übereinkommen ist Farbe Farbe. In Wirklichkeit aber gibt es nur die Atome und die Leere. Das heißt, die Gegenstände der Wahrnehmungen werden als real angenommen, und es ist gebräuchlich, sie als solche zu betrachten, aber in Wahrheit sind sie es nicht. Nur die Atome und die Leere sind real.«

Diese Idee bleibt in der alten Philosophie nichts weiter als eine geniale Vorstellung. Naturgesetze, die aufeinanderfolgende Ereignisse miteinander verbinden, waren den Griechen unbekannt. Wissenschaft mit verbindenden Theorien und Experimenten begann erst mit dem Werk Galileis. Wir sind den anfänglichen Schlüsseln, die zu den Gesetzen der Bewegung führten, gefolgt. Durch 200 Jahre wissenschaftlicher Forschung hindurch waren Kraft und Materie die zugrunde liegenden Begriffe in unserem Bemühen, die Natur zu verstehen. Es ist unmöglich, sich den einen Begriff ohne den anderen vorzustellen, da Materie ihre Existenz als Kraftquelle durch ihre Wirkung auf andere Materie demonstriert.

Betrachten wir den einfachsten Fall: zwei Massenpunkte, die sich durch Kraft gegenseitig beeinflussen. Die am leichtesten vorstellbaren Kräfte sind die der Anziehung und Abstoßung. In beiden Fällen liegen die Kraftvektoren auf einer die Materiepunkte verbindenden Linie. Es ist die Forderung nach Einfachheit, die auf das Bild der sich anziehenden und abstoßenden Massenpunkte führt; jede andere Annahme über die Richtung der wirkenden Kräfte würde ein viel komplizierteres Bild liefern. Können wir eine gleich einfache Annahme über die Länge der Kraftvektoren machen? Selbst wenn wir alle speziellen Annahmen vermeiden wollen, können wir noch



eins sagen: Die Kraft zwischen zwei beliebigen Partikeln hängt nur von dem Abstand zwischen ihnen ab, wie z. B. im Fall der Gravitationskräfte. Dies scheint einfach genug. Man könnte sich wohl kompliziertere Kräfte vorstellen, z. B. solche, die nicht nur von dem Abstand, sondern auch von den Geschwindigkeiten der Partikel abhängen. Mit Materie und Kraft als unsere fundamentalen Begriffe können wir uns kaum einfachere Annahmen vorstellen, als daß die Kräfte längs der Verbindungslinie der Partikel wirken, und daß sie nur von dem gegenseitigen Abstand der Partikel abhängen. Ist es aber möglich, alle physikalischen Phänomene mittels Kräfte dieser Art zu beschreiben?

Die großen Errungenschaften der Mechanik in allen ihren Zweigen, ihre auffallenden Erfolge in der Entwicklung der Astronomie, die Anwendbarkeit ihrer Ideen auf Probleme von scheinbar anderem und nicht-mechanischem Charakter, alle diese Dinge trugen zu dem Glauben bei, *daß* es möglich sei, sämtliche Naturphänomene in Ausdrücken einfacher Kräfte zwischen unveränderlichen Objekten zu beschreiben. Während der ganzen zwei Jahrhunderte, die auf Galileis Zeit folgten, war ein solches bewußtes oder unbewußtes Bestreben in fast allen wissenschaftlichen

Schöpfungen offenbar. Dies wurde um die Mitte des 19. Jahrhunderts von Helmholtz klar formuliert:

»Wir entdecken daher schließlich, daß das Problem der physikalischen materiellen Wissenschaft darin liegt, natürliche Phänomene auf unveränderliche Anziehungs- und Abstoßungskräfte zurückzuführen, deren Intensität nur vom Abstand abhängt. Die Lösbarkeit dieses Problems ist die Bedingung für die vollständige Begreifbarkeit der Natur.«

So ist nach Helmholtz der Lauf der Entwicklung der Wissenschaft bestimmt und folgt streng einem festen Kurs:

»Und ihre Aufgabe wird beendet sein, sobald die Zurückführung der natürlichen Phänomene auf einfache Kräfte abgeschlossen und der Beweis erbracht worden ist, daß dies die einzige mögliche Reduktion ist, deren die Phänomene fähig sind.«

Dieser Gesichtspunkt erscheint einem Physiker des 20. Jahrhunderts fade und naiv. Es würde ihn erschrecken, sich vorzustellen, daß das große Abenteuer der Forschung so bald beendet und ein langweili-

ges und unumstößliches Bild des Universums für alle Zeiten festgelegt sein könnte.

Obwohl diese Grundsätze die Beschreibung aller Ereignisse auf einfache Kräfte zurückführen würden, so lassen sie doch noch die Frage offen, wie gerade die Kräfte vom Abstand abhängen sollen. Es wäre möglich, daß für verschiedene Phänomene diese Abhängigkeit verschieden ist. Die Notwendigkeit, viele verschiedene Arten von Kräften für verschiedene Ereignisse einzuführen, ist sicherlich vom philosophischen Standpunkt unbefriedigend. Nichtsdestoweniger spielte dieser von Helmholtz am klarsten formulierte sogenannte *mechanistische Standpunkt* zu seiner Zeit eine wichtige Rolle. Die Entwicklung der kinetischen Theorie der Materie ist eine der größten Errungenschaften, die durch diese mechanistische Einstellung direkt beeinflußt wurde.

Bevor wir ihren Niedergang verfolgen, wollen wir vorübergehend den von den Physikern des vergangenen Jahrhunderts vertretenen Standpunkt akzeptieren und sehen, welche Schlußfolgerungen wir aus ihrem Bild der uns umgebenden Welt ziehen können.

Die kinetische Theorie der Materie

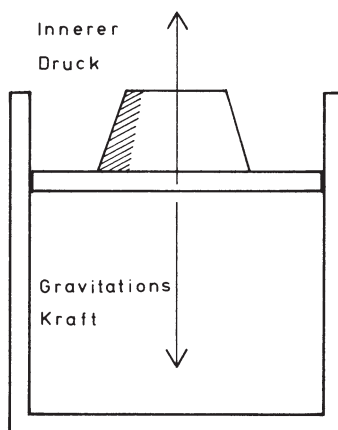
Ist es möglich, das Phänomen der Wärme durch die Bewegung einzelner Partikel, die sich gegenseitig durch einfache Kräfte beeinflussen, zu erklären? Ein geschlossenes Gefäß enthalte eine gewisse Menge von einem Gas, z. B. Luft, von gegebener Temperatur. Durch Erwärmen erhöhen wir die Temperatur und vergrößern auf diese Weise die Energie. Wie steht aber diese Wärme mit Bewegung in Zusammenhang? Die Möglichkeit einer solchen Beziehung wird sowohl durch unseren versuchsweise übernommenen philosophischen Standpunkt als auch durch die Art und Weise, wie Wärme durch Bewegung erzeugt wird, nahegelegt. Wenn jedes Problem ein mechanisches sein soll, so muß auch Wärme mechanische Energie sein. Der Gegenstand der *kinetischen Theorie* besteht gerade darin, den Begriff der Materie in dieser Weise darzustellen. Gemäß dieser Theorie ist ein Gas eine Zusammenhäufung einer enormen Anzahl von Partikeln, oder *Molekülen*, die sich in allen möglichen Richtungen bewegen und miteinander zusammenstoßen und nach jedem Zusammenstoß ihre Bewegungsrichtung ändern. Es muß eine mittlere Geschwindigkeit der Moleküle geben, genau so, wie in einer großen menschlichen Gemeinschaft ein mittleres Alter oder ein mittlerer Reichtum existiert. Mehr

Wärme in dem Gefäß bedeutet eine größere mittlere kinetische Energie. Wärme ist also nach diesem Bilde keine spezielle, von der mechanischen verschiedene Form der Energie, sondern gerade die kinetische Energie der molekularen Bewegung. Jeder bestimmten Temperatur entspricht eine bestimmte mittlere kinetische Energie pro Molekül. Dies ist tatsächlich keine willkürliche Annahme. Wir sind dazu gezwungen, die kinetische Energie eines Moleküls als ein Maß für die Temperatur des Gases anzusehen, wenn wir uns ein widerspruchslloses mechanistisches Bild von der Materie formen wollen.

Diese Theorie ist etwas mehr als ein Gedankenspiel. Es kann gezeigt werden, daß die kinetische Theorie der Gase nicht nur mit dem Experiment im Einklang steht, sondern daß sie zu einem wirklich tieferen Verständnis der Tatsachen führt. Dies möge an wenigen Beispielen illustriert werden.

Wir haben ein geschlossenes Gefäß mit einem beweglichen Kolben. Das Gefäß enthalte eine bestimmte Menge Gas, das auf konstanter Temperatur gehalten werde. Der Kolben befinde sich anfänglich in irgendeiner Lage in Ruhe und kann durch Entfernen von Gewichten nach oben und durch Hinzufügen von Gewichten nach unten bewegt werden. Um den Kolben nach unten zu drücken, muß Kraft gegen den inneren Druck des Gases aufgewandt werden.

Wie sieht dieser Mechanismus des inneren Druckes nach der kinetischen Gastheorie aus? Eine ungeheure Zahl von Partikeln, die das Gas ausmachen, bewegen sich in allen Richtungen. Sie bombardieren die Wände und den Kolben und prallen davon wie gegen eine Wand geworfene Bälle ab. Diese fortgesetzte Beschießung durch eine große Anzahl von Gas-molekülen hält den Kolben in einer gewissen Höhe, indem sie der auf den Kolben und die Gewichte nach unten wirkenden Gravitationskraft entgegenwirkt. In der einen Richtung herrscht eine konstante Gravitationskraft, in der anderen wirken die sehr vielen ungeordneten Stöße der Moleküle. Der Netto-Effekt aller dieser kleinen irregulären Kräfte auf den Kolben muß im Fall des Gleichgewichts der Gravitationskraft gleich sein.



Nehmen wir an, der Kolben würde heruntergedrückt, so daß das Gas auf einen Bruchteil seines früheren Volumens, z.B. die Hälfte, zusammengepreßt wird, wobei seine Temperatur konstant gehalten werden möge. Was wird gemäß der kinetischen Theorie geschehen? Wird die von der Beschießung herrührende Kraft stärker oder schwächer wirksam sein als bevor? Die Partikel sind jetzt enger zusammengepackt. Obwohl die mittlere kinetische Energie dieselbe geblieben ist, werden die Zusammenstöße der Partikel mit dem Kolben jetzt häufiger vorkommen, so daß die totale Kraft vergrößert ist. Nach diesem von der kinetischen Theorie gelieferten Bild ist es klar, daß ein größeres Gewicht erforderlich ist, um den Kolben in dieser niedrigeren Stellung zu halten. Diese einfache experimentelle Tatsache ist wohl bekannt, aber ihre Voraussage folgt logisch aus der kinetischen Ansicht über die Materie.

Betrachten wir eine andere experimentelle Anordnung. Wir nehmen zwei Gefäße gleichen Volumens, die mit verschiedenen Gasen, z. B. Wasserstoff und Stickstoff, von gleicher Temperatur gefüllt seien. Beide Gefäße seien mit identischen Kolben, auf denen gleiche Gewichte ruhen, verschlossen. Dies bedeutet kurz gesagt, daß die beiden Gase das gleiche Volumen, gleiche Temperatur und gleichen Druck haben. Da die Temperatur die gleiche ist, so ist auch

die mittlere kinetische Energie pro Molekül die gleiche. Da die Drucke gleich sind, werden die Kolben mit der gleichen Gesamtkraft bombardiert. Im Mittel führt jedes Molekül die gleiche Energie mit sich, und beide Gefäße haben dasselbe Volumen. Folglich: *Die Zahl der Moleküle muß in beiden Gefäßen dieselbe sein*, obgleich die Gase chemisch verschieden sind. Dies Resultat ist für das Verständnis vieler chemischer Phänomene von großer Wichtigkeit. Es bedeutet, daß die Zahl der Moleküle in einem gegebenen Volumen bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck etwas für alle Gase, und nicht für ein besonderes Gas, Charakteristisches ist. Es ist erstaunlich, daß die kinetische Theorie nicht nur die Existenz einer solchen universellen Zahl voraussagt, sondern uns sogar in den Stand setzt, sie zu bestimmen. Auf diesen Punkt werden wir sehr bald zurückkommen.

Die kinetische Theorie der Materie erklärt sowohl qualitativ als auch quantitativ die Gasgesetze, wie sie uns aus Experimenten bekannt sind. Fernerhin ist sie nicht nur auf Gase beschränkt, doch sind ihre größten Erfolge auf diesem Gebiet zu verzeichnen gewesen.

Ein Gas kann mit Hilfe einer Erniedrigung seiner Temperatur verflüssigt werden. Eine Erniedrigung der Temperatur der Materie bedeutet eine Abnahme der mittleren kinetischen Energie der Partikel. Es ist

daher natürlich, daß die mittlere kinetische Energie einer Flüssigkeitspartikel kleiner ist als diejenige einer Partikel des korrespondierenden Gases.

Eine auffällige Manifestation der Bewegung der Partikel in Flüssigkeiten wurde zum ersten Mal durch die sogenannte *Brownsche Bewegung* gegeben. Dies ist ein bemerkenswertes Phänomen, das ohne die kinetische Theorie der Materie gänzlich rätselhaft und unverständlich bleiben würde. Es wurde zuerst von dem Botaniker Brown beobachtet und 80 Jahre später, zu Beginn dieses Jahrhunderts, erklärt. Zur Beobachtung der Brownschen Bewegung ist nur ein Mikroskop von nicht einmal besonders guter Qualität notwendig. Brown arbeitete damals mit Samenkörnern gewisser Pflanzen, das heißt:

»... Partikel oder Körnchen von ungewöhnlich großem Durchmesser, die von ungefähr einem Viertausendstel bis zu einem Fünftausendstel Zoll im Durchmesser variierten«.

Er berichtet weiter:

»Während ich die Gestalt dieser in Wasser getauchten Partikel untersuchte, beobachtete ich, daß viele von ihnen in auffälliger Bewegung waren. Diese Bewegungen waren derart, daß

sie mich nach vielen wiederholten Beobachtungen überzeugten, daß sie weder von Strömungen der Flüssigkeit noch von ihrer allmählichen Verdampfung herrührten, sondern den Partikeln selbst zuzuschreiben waren.«

Was Brown beobachtete, war die durch das Mikroskop sichtbar gemachte unaufhörliche Bewegung der im Wasser suspendierten Teilchen. Es ist ein eindrucksvoller Anblick!

Ist die Wahl einer besonderen Pflanze für das Phänomen entscheidend? Brown beantwortete diese Frage durch Wiederholung des Versuches mit vielen verschiedenen Pflanzen und fand, daß alle in Wasser suspendierten Körnchen, sobald sie nur genügend klein sind, solche Bewegungen ausführen. Weiterhin fand er dieselbe Art ruheloser, ungeordneter Bewegung bei sehr kleinen Partikeln anorganischer als auch organischer Substanzen. Selbst mit einem pulverisierten Stückchen von einer Sphinx beobachtete er dasselbe Phänomen!

Wie ist diese Bewegung zu erklären? Sie scheint allen früheren Experimenten zu widersprechen. Eine Feststellung der Lage eines bestimmten suspendierten Teilchens etwa in Intervallen von 30 Sekunden offenbart einen phantastischen Lauf seiner Bewegung. Das Erstaunliche an der Sache ist der scheinbar ewige

Charakter der Bewegung. Ein in Wasser getauchtes schwingendes Pendel kommt bald zur Ruhe, wenn es nicht durch äußere Kräfte angetrieben wird. Die Existenz einer niemals abnehmenden Bewegung scheint aller Erfahrung zu widersprechen. Diese Schwierigkeit wurde durch die kinetische Theorie der Materie glänzend aufgeklärt.

Wenn wir selbst mit dem stärksten Mikroskop Wasser betrachten, so können wir keine sich bewegendenden Moleküle, wie es uns die kinetische Theorie der Materie darstellt, sehen. Wir müssen daraus schließen, daß, wenn die Theorie der Flüssigkeiten als Anhäufung von Partikeln korrekt ist, die Größe der Wasserpartikel kleiner als das Auflösungsvermögen selbst des besten Mikroskops ist. Halten wir trotzdem an der Theorie fest, und nehmen wir an, daß sie eine konsequente Beschreibung der Wirklichkeit liefert. Die Brownschen Partikel, die durch das Mikroskop sichtbar sind, werden durch die kleineren, die das Wasser ausmachen, bombardiert. Die Brownsche Bewegung existiert, wenn die bombardierten Partikel genügend klein sind. Sie tritt ein, weil dies Bombardement nicht von allen Seiten gleichförmig ist, und wegen seines irregulären und zufälligen Charakters nicht ausgeglichen werden kann. Die beobachtete Bewegung ist somit das Ergebnis der unbeobachtbaren. Das Verhalten der großen Partikel reflektiert

in gewisser Weise dasjenige der Moleküle, indem es quasi eine solche Verstärkung bildet, daß das Verhalten der Moleküle durch das Mikroskop jetzt sichtbar gemacht wird. Der irreguläre und zufällige Charakter der Wege in der Zeichnung spiegelt dieselbe Art von Irregularität in dem Wege der kleineren Partikel, welche die Materie aufbauen, wider. Wir können daher verstehen, daß eine quantitative Untersuchung der Brownschen Bewegung uns eine tiefere Einsicht in die kinetische Theorie der Materie liefern kann. Es ist evident, daß die sichtbare Brownsche Bewegung von der Größe der unsichtbaren bombardierenden Partikel abhängig ist. Es würde überhaupt keine Brownsche Bewegung geben, wenn die bombardierenden Moleküle nicht einen gewissen Betrag von Energie besitzen würden oder, mit anderen Worten, wenn sie keine Masse und Geschwindigkeit hätten. Daß das Studium der Brownschen Bewegung zu einer direkten Bestimmung der Masse der Moleküle führen kann, ist daher nicht erstaunlich.

In mühseliger Forschung wurden von theoretischer und experimenteller Seite die quantitativen Züge der kinetischen Theorie ausgearbeitet. Der Schlüssel, der das Brownsche Phänomen hervorbrachte, war einer von denen, die zu quantitativen Daten führten. Dieselben Daten können auf ganz anderen Wegen, von ganz verschiedenen Schlüsseln

ausgehend, gewonnen werden. Die Tatsache, daß alle diese Methoden denselben Gesichtspunkt bekräftigen, ist höchst wichtig, da sie die innere Folgerichtigkeit der kinetischen Theorie der Materie zum Ausdruck bringt.

Nur eins der vielen mittels Experiment und Theorie erreichten Ergebnisse soll hier erwähnt werden. Nehmen wir an, daß wir ein Gramm des leichtesten aller Elemente, Wasserstoff, vor uns hätten, und fragen wir uns: Wie viele Partikel gibt es in diesem einen Gramm? Die Antwort wird nicht nur Wasserstoff, sondern auch alle anderen Gase charakterisieren, denn wir wissen bereits, unter welchen Bedingungen zwei Gase dieselbe Anzahl von Partikeln besitzen.

Die Theorie setzt uns in den Stand, diese Frage aus gewissen Messungen der Brownschen Bewegung einer suspendierten Partikel zu beantworten. Die Antwort ist eine erstaunlich große Zahl, eine Drei mit dreiundzwanzig darauffolgenden weiteren Ziffern! Die Zahl der Moleküle in einem Gramm Wasserstoff ist

303000000000000000000000.

Denken wir uns die Moleküle eines Gramms Wasserstoff, so in ihrer Ausdehnung vergrößert, daß sie durch ein Mikroskop sichtbar werden, etwa von der

Größe einer Brownschen Partikel. Dann würden wir, um sie eng zusammenzupacken, eine Kiste verwenden müssen, deren Seiten jede ungefähr einen halben Kilometer lang sein müßte.

Wir können leicht die Masse eines solchen Wasserstoffmoleküls durch Division von 1 durch die angegebene Zahl berechnen. Die Antwort ist eine phantastisch kleine Zahl:

0,000000000000000000000000033 Gramm

stellt die Masse eines Wasserstoffmoleküls dar. Die Experimente der Brownschen Bewegung bilden nur einige der vielen voneinander unabhängigen Experimente, die zur Bestimmung dieser für die Physik so wichtigen Zahl führen. In der kinetischen Theorie der Materie und in allen ihren wichtigen Errungenschaften sehen wir die Verwirklichung des allgemeinen philosophischen Programms: die Zurückführung der Erklärung aller Phänomene auf die Wechselwirkung der zwischen den Partikeln der Materie bestehenden Kräfte.

Wir fassen zusammen:

In der Mechanik kann die zukünftige Bahn eines sich bewegenden Körpers und dessen Vergangenheit be-

stimmt werden, falls sein gegenwärtiger Bewegungszustand und die auf ihn wirkenden Kräfte bekannt sind. So kann zum Beispiel der zukünftige Lauf aller Planeten vorausberechnet werden. Die wirkenden Kräfte sind die Newtonschen Gravitationskräfte, die nur vom Abstand abhängen. Die großen Erfolge der klassischen Mechanik legen die Vermutung nahe, daß der mechanistische Standpunkt auf alle Zweige der Physik konsequent angewandt werden kann, daß alle Phänomene durch Anziehungs- oder Abstoßungskräfte, die nur vom gegenseitigen Abstand unveränderlicher Partikel abhängen, erklärt werden können.

In der kinetischen Theorie der Materie sehen wir, wie dieser aus mechanischen Problemen entwickelte Gesichtspunkt die Wärmeerscheinungen umfaßt, und wie er zu einem erfolgreichen Bild der Struktur der Materie führt.

Äther und Relativitäts-Theorie

Rede, gehalten am 5. Mai 1920
an der Reichs-Universität zu Leiden

Meine Herren Kuratoren, Professoren, Doktoren und Studenten dieser Universität! Sie alle ferner, meine Damen und Herren, welche diese Feier durch Ihre Anwesenheit ehren!

Wie kommen die Physiker dazu, neben der der Abstraktion des Alltagslebens entstammenden Idee, der ponderablen Materie, die Idee von der Existenz einer anderen Materie, des Äthers, zu setzen? Der Grund dafür liegt wohl in denjenigen Erscheinungen, welche zur Theorie der Fernkräfte Veranlassung gegeben haben, und in den Eigenschaften des Lichtes, welche zur Undulationstheorie geführt haben. Wir wollen diesen beiden Gegenständen eine kurze Betrachtung widmen.

Das nicht-physikalische Denken weiß nichts von Fernkräften. Bei dem Versuch einer kausalen Durchdringung der Erfahrungen, welche wir an den Körpern machen, scheint es zunächst keine anderen Wechselwirkungen zu geben als solche durch unmittelbare Berührung, z. B. Bewegungsübertragung

durch Stoß, Druck und Zug, Erwärmung oder Einleitung einer Verbrennung durch eine Flamme usw. Allerdings spielt bereits in der Alltagserfahrung die Schwere, also eine Fernkraft, eine Hauptrolle. Da uns aber in der alltäglichen Erfahrung die Schwere der Körper als etwas Konstantes, an keine räumlich oder zeitlich *veränderliche* Ursache Gebundenes entgegnet, so denken wir uns im Alltagsleben zu der Schwere überhaupt keine Ursache und werden uns deshalb ihres Charakters als Fernkraft nicht bewußt. Erst durch Newtons Gravitations-Theorie wurde eine Ursache für die Schwere gesetzt, indem letztere als Fernkraft gedeutet wurde, die von Massen herrührt. Newtons Theorie bedeutet wohl den größten Schritt, den das Streben nach kausaler Verkettung der Naturerscheinungen je gemacht hat. Und doch erzeugte diese Theorie bei Newtons Zeitgenossen lebhaftes Unbehagen, weil sie mit dem aus der sonstigen Erfahrung fließenden Prinzip in Widerspruch zu treten schien, daß es nur Wechselwirkung durch Berührung, nicht aber durch unvermittelte Fernwirkung gebe.

Der menschliche Erkenntnistrieb erträgt einen solchen Dualismus nur mit Widerstreben. Wie konnte man die Einheitlichkeit der Auffassung von den Naturkräften retten? Entweder man konnte versuchen, die Kräfte, welche uns als Berührungskräfte

entgegentreten, ebenfalls als Fernkräfte aufzufassen, welche sich allerdings nur bei sehr geringer Entfernung bemerkbar machen; dies war der Weg, welcher von Newtons Nachfolgern, die ganz unter dem Banne seiner Lehre standen, zumeist bevorzugt wurde. Oder aber man konnte annehmen, daß die Newtonschen Fernkräfte nur *scheinbar* unvermittelte Fernkräfte seien, daß sie aber in Wahrheit durch ein den Raum durchdringendes Medium übertragen würden, sei es durch Bewegungen, sei es durch elastische Deformation dieses Mediums. So führt das Streben nach Vereinheitlichung unserer Auffassung von der Natur der Kräfte zur Ätherhypothese. Allerdings brachte letztere der Gravitationstheorie und der Physik überhaupt zunächst keinen Fortschritt, so daß man sich daran gewöhnte, Newtons Kraftgesetz als nicht mehr weiter zu reduzierendes Axiom zu behandeln. Die Ätherhypothese mußte aber stets im Denken der Physiker eine Rolle spielen, wenn auch zunächst meist nur eine latente Rolle.

Als in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die weitgehende Ähnlichkeit offenbar wurde, welche zwischen den Eigenschaften des Lichtes und denen der elastischen Wellen in ponderablen Körpern besteht, gewann die Ätherhypothese eine neue Stütze. Es schien unzweifelhaft, daß das Licht als Schwingungsvorgang eines den Weltraum erfüllenden, ela-

stischen, trägen Mediums gedeutet werden müsse. Auch schien aus der Polarisierbarkeit des Lichtes mit Notwendigkeit hervorzugehen, daß dieses Medium – der Äther – von der Art eines festen Körpers sein müsse, weil nur in einem solchen, nicht aber in einer Flüssigkeit Transversalwellen möglich sind. Man mußte so zu der Theorie des ›quasistarren‹ Lichtäthers kommen, dessen Teile relativ zueinander keine anderen Bewegungen auszuführen vermögen als die kleinen Deformationsbewegungen, welche den Lichtwellen entsprechen.

Diese Theorie – auch Theorie des ruhenden Lichtäthers genannt – fand ferner eine gewichtige Stütze in dem auch für die spezielle Relativitätstheorie fundamentalen Experimente von Fizeau, aus welchem man schließen mußte, daß der Lichtäther an den Bewegungen der Körper nicht teilnehme. Auch die Erscheinung der Aberration sprach für die Theorie des quasistarren Äthers.

Die Entwicklung der Elektrizitätstheorie auf dem von Maxwell und Lorentz gewiesenen Wege brachte eine ganz eigenartige und unerwartete Wendung in die Entwicklung unserer den Äther betreffenden Vorstellungen. Für Maxwell selbst war zwar der Äther noch ein Gebilde mit rein mechanischen Eigenschaften, wenn auch mit mechanischen Eigenschaften viel komplizierterer Art als die der greifba-

ren festen Körper. Aber weder Maxwell noch seinen Nachfolgern gelang es, ein mechanisches Modell für den Äther auszudenken, das eine befriedigende mechanische Interpretation der Maxwellschen Gesetze des elektromagnetischen Feldes geliefert hätte. Die Gesetze waren klar und einfach, die mechanischen Deutungen schwerfällig und widerspruchsvoll. Beinahe unvermerkt paßten sich die theoretischen Physiker dieser vom Standpunkt ihres mechanischen Programms recht betrübenden Sachlage an, insbesondere unter dem Einfluß der elektrodynamischen Untersuchungen von Heinrich Hertz. Während sie nämlich vordem von einer endgültigen Theorie gefordert hatten, daß sie mit Grundbegriffen auskomme, die ausschließlich der Mechanik angehören (z. B. Massendichten, Geschwindigkeiten, Deformationen, Druckkräfte), gewöhnten sie sich allmählich daran, elektrische und magnetische Feldstärken als Grundbegriffe neben den mechanischen Grundbegriffen zuzulassen, ohne für sie eine mechanische Interpretation zu fordern. So wurde allmählich die rein mechanische Naturauffassung verlassen. Diese Wandlung führte aber zu einem auf die Dauer unerträglichen Dualismus in den Grundlagen. Um ihm zu entgehen, suchte man umgekehrt die mechanischen Grundbegriffe auf die elektrischen zu reduzieren, zumal die Versuche an β -Strahlen und raschen Kathodenstrah-

len das Vertrauen in die strenge Gültigkeit der mechanischen Gleichungen Newtons erschütterten.

Bei H. Hertz ist der angedeutete Dualismus noch ungemildert. Bei ihm tritt die Materie nicht nur als Trägerin von Geschwindigkeiten, kinetischer Energie und mechanischen Druckkräften, sondern auch als Trägerin von elektromagnetischen Feldern auf. Da solche Felder auch im Vakuum – d. h. im freien Äther – auftreten, so erscheint auch der Äther als Träger von elektromagnetischen Feldern. Er erscheint der ponderablen Materie als durchaus gleichartig und nebengeordnet. Er nimmt in der Materie an den Bewegungen dieser teil und hat im leeren Raum überall eine Geschwindigkeit, derart, daß die Äthergeschwindigkeit im ganzen Raum stetig verteilt ist. Der Hertzsche Äther unterscheidet sich grundsätzlich in nichts von der (zum Teil in Äther bestehenden) ponderablen Materie.

Die Hertzsche Theorie litt nicht nur an dem Mangel, daß sie der Materie und dem Äther einerseits mechanische, andererseits elektrische Zustände zuschrieb, die in keinem gedanklichen Zusammenhange miteinander stehen; sie widersprach auch dem Ergebnis des wichtigen Fizeauschen Versuches über die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes in bewegten Flüssigkeiten und anderen gesicherten Erfahrungsergebnissen.

So standen die Dinge, als H. A. Lorentz eingriff. Er brachte die Theorie in Einklang mit der Erfahrung und erreichte dies durch eine wunderbare Vereinfachung der theoretischen Grundlagen. Er erzielte diesen wichtigsten Fortschritt der Elektrizitätstheorie seit Maxwell, indem er dem Äther seine mechanischen, der Materie ihre elektromagnetischen Qualitäten wegnahm. Wie im leeren Raume, so auch im Innern der materiellen Körper war ausschließlich der Äther, nicht aber die atomistisch gedachte Materie, Sitz der elektromagnetischen Felder. Die Elementarteilchen der Materie sind nach Lorentz *allein* fähig, Bewegungen auszuführen; ihre elektromagnetische Wirksamkeit liegt einzig darin, daß sie elektrische Ladungen tragen. So gelang es Lorentz, alles elektromagnetische Geschehen auf die Maxwellschen Vakuum-Feldgleichungen zu reduzieren.

Was die mechanische Natur des Lorentzschen Äthers anlangt, so kann man etwas scherzhaft von ihm sagen, daß Unbeweglichkeit die einzige mechanische Eigenschaft sei, die ihm H. A. Lorentz noch gelassen hat. Man kann hinzufügen, daß die ganze Änderung der Ätherauffassung, welche die spezielle Relativitätstheorie brachte, darin bestand, daß sie dem Äther seine letzte mechanische Qualität, nämlich die Unbeweglichkeit, wegnahm. Wie dies zu verstehen ist, soll gleich dargelegt werden.

Der Raum-Zeit-Theorie und Kinematik der speziellen Relativitätstheorie hat die Maxwell-Lorentzsche Theorie des elektromagnetischen Feldes als Modell gedient. Diese Theorie genügt daher den Bedingungen der speziellen Relativitätstheorie; sie erhält aber, von letzterer aus betrachtet, ein neuartiges Aussehen. Sei nämlich K ein Koordinatensystem, relativ zu welchem der Lorentzsche Äther in Ruhe ist, so gelten die Maxwell-Lorentzschen Gleichungen zunächst in bezug auf K . Nach der speziellen Relativitätstheorie gelten aber dieselben Gleichungen in ganz ungeändertem Sinne auch in bezug auf jedes neue Koordinatensystem K^1 , welches in bezug auf K in gleichförmiger Translationsbewegung ist. Es entsteht nun die bange Frage: Warum soll ich das System K , welchem die Systeme K^1 physikalisch vollkommen gleichwertig sind, in der Theorie vor letzterem durch die Annahme auszeichnen, daß der Äther relativ zu ihm ruhe?

Eine solche Asymmetrie des theoretischen Gebäudes, dem keine Asymmetrie des Systems der Erfahrungen entspricht, ist für den Theoretiker unerträglich. Es scheint mir die physikalische Gleichwertigkeit von K und K^1 mit der Annahme, daß der Äther relativ zu K ruhe, relativ zu K^1 aber bewegt sei, zwar nicht vom logischen Standpunkte geradezu unrichtig, aber doch unannehmbar.

Der nächstliegende Standpunkt, den man dieser Sachlage gegenüber einnehmen konnte, schien der folgende zu sein. Der Äther existiert überhaupt nicht. Die elektromagnetischen Felder sind nicht Zustände eines Mediums, sondern selbständige Realitäten, die auf nichts anderes zurückzuführen sind und die an keinen Träger gebunden sind, genau wie die Atome der ponderablen Materie. Diese Auffassung liegt um so näher, weil gemäß der Lorentzschen Theorie die elektromagnetische Strahlung Impuls und Energie mit sich führt wie die ponderable Materie, und weil Materie und Strahlung nach der speziellen Relativitätstheorie beide nur besondere Formen verteilter Energie sind; indem ponderable Masse ihre Sonderstellung verliert und nur als besondere Form der Energie erscheint.

Indessen lehrt ein genaueres Nachdenken, daß diese Leugnung des Äthers nicht notwendig durch das spezielle Relativitätsprinzip gefordert wird. Man kann die Existenz eines Äthers annehmen; nur muß man darauf verzichten, ihm einen bestimmten Bewegungszustand zuzuschreiben, d.h. man muß ihm durch Abstraktion das letzte mechanische Merkmal nehmen, welches ihm Lorentz noch gelassen hatte. Später werden wir sehen, daß diese Auffassungsweise, deren gedankliche Möglichkeit ich sogleich durch einen etwas hinkenden Vergleich deutlicher zu ma-

chen suche, durch die Ergebnisse der allgemeinen Relativitätstheorie gerechtfertigt wird.

Man denke sich Wellen auf einer Wasseroberfläche. Man kann an diesem Vorgang zwei ganz verschiedene Dinge beschreiben. Man kann erstens verfolgen, wie sich die wellenförmige Grenzfläche zwischen Wasser und Luft im Laufe der Zeit ändert. Man kann aber auch – etwa mit Hilfe von kleinen schwimmenden Körpern – verfolgen, wie sich die Lage der einzelnen Wasserteilchen im Laufe der Zeit ändert. Würde es derartige schwimmende Körperchen zum Verfolgen der Bewegung der Flüssigkeitsteilchen prinzipiell nicht geben, ja würde überhaupt an dem ganzen Vorgang nichts anderes als die zeitlich veränderliche Lage des von Wasser eingenommenen Raumes sich bemerkbar machen, so hätten wir keinen Anlaß zu der Annahme, daß das Wasser aus beweglichen Teilchen bestehe. Aber wir könnten es gleichwohl als Medium bezeichnen.

Etwas Ähnliches liegt bei dem elektromagnetischen Feld vor. Man kann sich nämlich das Feld als in Kraftlinien bestehend vorstellen. Will man diese Kraftlinien sich als etwas Materielles im gewohnten Sinne deuten, so ist man versucht, die dynamischen Vorgänge als Bewegungsvorgänge dieser Kraftlinie zu deuten, derart, daß jede einzelne Kraftlinie durch die Zeit hindurch verfolgt wird. Es ist indessen wohl be-

kennt, daß eine solche Betrachtungsweise zu Widersprüchen führt.

Verallgemeinernd müssen wir sagen: Es lassen sich ausgedehnte physikalische Gegenstände denken, auf welche der Bewegungsbegriff keine Anwendung finden kann. Sie dürfen nicht als aus Teilchen bestehend gedacht werden, die sich einzeln durch die Zeit hindurch verfolgen lassen. In der Sprache Minkowskis drückt sich dies so aus: Nicht jedes in der vierdimensionalen Welt ausgedehnte Gebilde läßt sich als aus Weltfäden zusammengesetzt auffassen. Das spezielle Relativitätsprinzip verbietet uns, den Äther als aus zeitlich verfolgbaren Teilchen bestehend anzunehmen, aber die Ätherhypothese an sich widerspricht der speziellen Relativitätstheorie nicht. Nur muß man sich davor hüten, dem Äther einen Bewegungszustand zuzusprechen.

Allerdings erscheint die Ätherhypothese vom Standpunkt der speziellen Relativitätstheorie zunächst als eine leere Hypothese. In den elektromagnetischen Feldgleichungen treten außer den elektrischen Ladungsdichten *nur* die Feldstärken auf. Der Ablauf der elektromagnetischen Vorgänge im Vakuum scheint durch jenes innere Gesetz völlig bestimmt zu sein, unbeeinflusst durch andere physikalische Größen. Die elektromagnetischen Felder erscheinen als letzte, nicht weiter zurückführbare Realitäten, und

es erscheint zunächst überflüssig, ein homogenes, isotropes Äthermedium zu postulieren, als dessen Zustände jene Felder aufzufassen wären.

Andererseits läßt sich aber zugunsten der Ätherhypothese ein wichtiges Argument anführen. Den Äther leugnen bedeutet letzten Endes annehmen, daß dem leeren Raum keinerlei physikalische Eigenschaften zukommen. Mit dieser Auffassung stehen die fundamentalen Tatsachen der Mechanik nicht im Einklang. Das mechanische Verhalten eines im leeren Raum frei schwebenden körperlichen Systems hängt nämlich außer von den relativen Lagen (Abständen) und relativen Geschwindigkeiten noch von seinem Drehungszustand ab, der physikalisch nicht als ein dem System an sich zukommendes Merkmal aufgefaßt werden kann. Um die Drehung des Systems wenigstens formal als etwas Reales ansehen zu können, objektiviert Newton den Raum. Dadurch, daß er seinen absoluten Raum zu den realen Dingen rechnet, ist für ihn auch die Drehung relativ zu einem absoluten Raum etwas Reales. Newton hätte seinen absoluten Raum ebenso gut ›Äther‹ nennen können; wesentlich ist ja nur, daß neben den beobachtbaren Objekten noch ein anderes, nicht wahrnehmbares Ding als real angesehen werden muß, um die Beschleunigung bzw. die Rotation als etwas Reales ansehen zu können.

Mach suchte zwar der Notwendigkeit, etwas nicht beobachtbares Reales anzunehmen, dadurch zu entgehen, daß er in die Mechanik statt der Beschleunigung gegen den absoluten Raum eine mittlere Beschleunigung gegen die Gesamtheit der Massen der Welt zu setzen strebte. Aber ein Trägheitswiderstand gegenüber relativer Beschleunigung ferner Massen setzt unvermittelte Fernwirkung voraus. Da der moderne Physiker eine solche nicht annehmen zu dürfen glaubt, so landet er auch bei dieser Auffassung wieder beim Äther, der die Trägheitswirkungen zu vermitteln hat. Dieser Ätherbegriff, auf den die Machsche Betrachtungsweise führt, unterscheidet sich aber wesentlich vom Ätherbegriff Newtons, Fresnels und H. A. Lorentz'. Dieser Machsche Äther *bedingt* nicht nur das Verhalten der trägen Massen, sondern *wird* in seinem Zustand *auch bedingt* durch die trägen Massen.

Der Machsche Gedanke findet seine volle Entfaltung in dem Äther der allgemeinen Relativitätstheorie. Nach dieser Theorie sind die metrischen Eigenschaften des Raum-Zeit-Kontinuums in der Umgebung der einzelnen Raum-Zeit-Punkte verschieden und mitbedingt durch die außerhalb des betrachteten Gebietes vorhandene Materie. Diese raum-zeitliche Veränderlichkeit der Beziehungen von Maßstäben und Uhren zueinander bzw. die Er-

kenntnis, daß der ›leere Raum‹ in physikalischer Beziehung weder homogen noch isotrop sei, welche uns dazu zwingt, seinen Zustand durch zehn Funktionen, die Gravitationspotentiale $g_{\mu\sigma}$ zu beschreiben, hat die Auffassung, daß der Raum physikalisch leer sei, wohl endgültig beseitigt. Damit ist aber auch der Ätherbegriff wieder zu einem deutlichen Inhalt gekommen, freilich zu einem Inhalt, der von dem des Äthers der mechanischen Undulationstheorie des Lichtes weit verschieden ist. Der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Medium, welches selbst *aller* mechanischen und kinematischen Eigenschaften bar ist, aber das mechanische (und elektromagnetische) Geschehen mitbestimmt.

Das prinzipiell Neuartige des Äthers der allgemeinen Relativitätstheorie gegenüber dem Lorentzschen Äther besteht darin, daß der Zustand des ersteren an jeder Stelle bestimmt ist durch gesetzliche Zusammenhänge mit der Materie und mit dem Ätherzustand in benachbarten Stellen in Gestalt von Differentialgleichungen, während der Zustand des Lorentzschen Äthers bei Abwesenheit von elektromagnetischen Feldern durch nichts außer ihm bedingt und überall der gleiche ist. Der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie geht gedanklich dadurch in den Lorentzschen über, daß man die ihn beschreibenden Raumfunktionen durch Konstante ersetzt, in-

dem man absieht von den seinen Zustand bedingenden Ursachen. Man kann also wohl auch sagen, daß der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie durch Relativierung aus dem Lorentzschen Äther hervorgegangen ist.

Über die Rolle, welche der neue Äther im physikalischen Weltbild der Zukunft zu spielen berufen ist, sind wir noch nicht im klaren. Wir wissen, daß er die metrischen Beziehungen im raum-zeitlichen Kontinuum, z. B. die Konfigurationsmöglichkeiten fester Körper sowie die Gravitationsfelder bestimmt; aber wir wissen nicht, ob er am Aufbau der die Materie konstituierenden elektrischen Elementarteilchen einen wesentlichen Anteil hat. Wir wissen auch nicht, ob seine Struktur nur in der Nähe ponderabler Massen von der Struktur des Lorentzschen wesentlich abweicht, ob die Geometrie von Räumen kosmischer Ausdehnung eine nahezu euklidische ist. Wir können aber aufgrund der relativistischen Gravitationsgleichungen behaupten, daß eine Abweichung vom euklidischen Verhalten bei Räumen von kosmischer Größenordnung dann vorhanden sein muß, wenn eine auch noch so kleine positive mittlere Dichte der Materie in der Welt existiert. In diesem Falle muß die Welt notwendig räumlich geschlossen und von endlicher Größe sein, wobei ihre Größe durch den Wert jener mittleren Dichte bestimmt wird.

Betrachten wir das Gravitationsfeld und das elektromagnetische Feld vom Standpunkt der Ätherhypothese, so besteht zwischen beiden ein bemerkenswerter prinzipieller Unterschied. Kein Raum und auch kein Teil des Raumes ohne Gravitationspotentiale; denn diese verleihen ihm seine metrischen Eigenschaften, ohne welche er überhaupt nicht gedacht werden kann. Die Existenz des Gravitationsfeldes ist an die Existenz des Raumes unmittelbar gebunden. Dagegen kann ein Raumteil sehr wohl ohne elektromagnetisches Feld gedacht werden; das elektromagnetische Feld scheint also im Gegensatz zum Gravitationsfeld gewissermaßen nur sekundär an den Äther gebunden zu sein, indem die formale Natur des elektromagnetischen Feldes durch die des Gravitationsäthers noch gar nicht bestimmt ist. Es sieht nach dem heutigen Zustand der Theorie so aus, als beruhe das elektromagnetische Feld dem Gravitationsfeld gegenüber auf einem völlig neuen formalen Motiv, als hätte die Natur den Gravitationsäther statt mit Feldern vom Typus der elektromagnetischen ebenso gut mit Feldern eines ganz anderen Typus, z. B. mit Feldern eines skalaren Potentials, ausstatten können.

Da nach unseren heutigen Auffassungen auch die Elementarteilchen der Materie ihrem Wesen nach nichts anderes sind als Verdichtungen des elektromagnetischen Feldes, so kennt unser heutiges Weltbild

zwei begrifflich vollkommen voneinander getrennte, wenn auch kausal aneinander gebundene Realitäten, nämlich Gravitationsäther und elektromagnetisches Feld oder – wie man sie auch nennen könnte – Raum und Materie.

Natürlich wäre es ein großer Fortschritt, wenn es gelingen würde, das Gravitationsfeld und das elektromagnetische Feld zusammen als ein einheitliches Gebilde aufzufassen. Dann erst würde die von Faraday und Maxwell begründete Epoche der theoretischen Physik zu einem befriedigenden Abschluß kommen. Es würde dann der Gegensatz Äther-Materie verblasen und die ganze Physik zu einem ähnlich geschlossenen Gedankensystem werden wie Geometrie, Kinetik und Gravitationstheorie durch die allgemeine Relativitätstheorie. Ein überaus geistvoller Versuch in dieser Richtung ist von dem Mathematiker H. Weyl gemacht worden; doch glaube ich nicht, daß seine Theorie der Wirklichkeit gegenüber standhalten wird. Wir dürfen ferner beim Denken an die nächste Zukunft der theoretischen Physik die Möglichkeit nicht unbedingt abweisen, daß die in der Quantentheorie zusammengefaßten Tatsachen der Feldtheorie unübersteigbare Grenzen setzen könnten.

Zusammenfassend können wir sagen: Nach der allgemeinen Relativitätstheorie ist der Raum mit physikalischen Qualitäten ausgestattet; es existiert also in

diesem Sinne ein Äther. Gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Raum ohne Äther undenkbar; denn in einem solchen gäbe es nicht nur keine Lichtfortpflanzung, sondern auch keine Existenzmöglichkeit von Maßstäben und Uhren, also auch keine räumlich-zeitlichen Entfernungen im Sinne der Physik. Dieser Äther darf aber nicht mit der für ponderable Medien charakteristischen Eigenschaft ausgestattet gedacht werden, aus durch die Zeit verfolgbaren Teilen zu bestehen; der Bewegungsbegriff darf auf ihn nicht angewendet werden.

POLITIK

Zur Organisation aller Geistesarbeiter

(1945)

Ich halte es für wichtig, ja für dringend notwendig, daß sich alle Geistesarbeiter zusammenschließen, um auf diese Weise ihren eigenen Stand wirtschaftlich zu schützen und sich einen Einfluß auf die Politik zu sichern. Bei der erstgenannten, der wirtschaftlichen Aufgabe, soll uns die Arbeiterklasse ein Vorbild sein; sie hat wenigstens bis zum gewissen Grade den Selbstschutz ihrer wirtschaftlichen Interessen erreicht. Von ihr können wir lernen, daß dieses Problem auch durch Organisationsmethoden zu lösen ist und daß jede Uneinigkeit eine innere Schwächung und Gefahr bedeutet, die wir um jeden Preis vermeiden müssen. Andernfalls wird alle Zusammenarbeit erschwert, und es kommt zu Streitigkeiten in den schon bestehenden Gruppen.

Außerdem aber können wir von den Arbeitern lernen, daß eine Beschränkung auf rein wirtschaftliche Ziele, also die Ausschließung jeder wirkungsvollen politischen Betätigung, keineswegs genügt. Hier stehen die Arbeiter dieses Landes erst am Anfang ihrer Entwicklung. Bei der fortschreitenden Zentralisierung der Produktion erscheint es aber unvermeidlich, daß der wirtschaftliche Kampf immer politischer

wird, denn der politische Faktor wird bei dieser Auseinandersetzung ständig an Bedeutung gewinnen. Vorläufig ist jedoch der Geistesarbeiter aufgrund seiner fehlenden Organisation der Willkür und Ausbeutung mehr ausgesetzt als der Angehörige jedes anderen Standes.

Daher sollten sich die Geistesarbeiter vereinen, nicht nur im eigenen, sondern vornehmlich im Interesse der ganzen menschlichen Gesellschaft. Die Zersplitterung der Intellektuellen ist ja mit daran schuld, daß die Geistesgaben und die Erfahrung als das Vorrecht dieser Gruppen so selten für politische Zwecke eingesetzt werden. Statt dessen bestimmen fast ausschließlich politischer Ehrgeiz und Gewinnsucht den Gang der Ereignisse. Überall fehlt es an Sachkenntnis und Urteilskraft, die ja beide auf objektives Denken zurückgehen.

Eine Organisation der Geistesarbeiter kann für die Gesellschaft von größter Bedeutung sein, wenn sie die öffentliche Meinung durch Erziehung und Presse beeinflusst. Ihre eigentliche Aufgabe besteht naturgemäß in der Verteidigung der akademischen Freiheit, ohne die eine gesunde Entwicklung der Demokratie undenkbar ist.

Noch wichtiger aber ist für die Organisation der Geistesarbeiter im Augenblick der Kampf für die Errichtung einer übernationalen politischen Macht

zum Schutz gegen neue Angriffskriege. Die Ausarbeitung eines bestimmten Planes für eine internationale Regierung soll freilich nicht unser Hauptziel sein. Wenn die Mehrheit der Bürger erst einmal zum Streben nach internationaler Sicherheit entschlossen ist, dann wird die Technik der Formgebung kein so schwieriges Problem mehr darstellen. Was der Mehrheit aber fehlt, ist die klare und vernünftige Überlegung, daß sich die drohende Katastrophe auf die Dauer durch kein anderes Mittel abwenden läßt. Also wäre eine Aufklärung in diesem Sinn der wichtigste Dienst, den eine Organisation aller geistig Schaffenden in diesem historischen Augenblick leisten kann. Und zwar muß sie sofort tatkräftig an die Arbeit gehen; nur dann kommt eine Organisation wie die hier geplante zu innerer Kraft und äußerem Einfluß.

War Europa ein Erfolg? (1934)

Europas Menschheitsideal scheint in der Tat unabänderlich mit der freien Meinungsäußerung, in gewissem Grade auch mit der Willensfreiheit des einzelnen, mit seinem uneigennützigem Bemühen um objektives Denken und mit der Förderung gegensätzlicher Meinungen auf geistigem und ästhetischem Gebiet zusammenzuhängen. Aus diesen Forderungen und Idealen setzt sich das Wesen des europäischen Geistes zusammen. Mit dem Verstand lassen sich diese Werte und Maximen nicht aufstellen, denn sie gehören zu den Grundlagen unserer Lebenserkenntnis und bilden einen Ausgangspunkt, der sich nur vom Gefühl her anerkennen oder verwerfen läßt. Ich weiß nur, daß ich sie von ganzer Seele bejahe und daß mir die Zugehörigkeit zu einer Gesellschaft unerträglich wäre, die sie ständig verneint.

Ich teile auch nicht den Pessimismus derer, die glauben, daß die volle Blüte des Geistes nur aufgrund offener oder heimlicher Sklaverei möglich ist. Das mag noch gelten für Zeiten mit primitiver technischer Entwicklung, in denen die Produktion der lebensnotwendigen Güter von der Mehrheit des Volkes eine körperliche Arbeit bis zur völligen Erschöpfung verlangte. In unserer Zeit hoher technischer Ent-

wicklung mit vernünftiger Arbeitsteilung und allgemeiner Versorgung sollte der einzelne sehr wohl Zeit und Kraft haben, rezeptiv und produktiv nach Fähigkeit und Neigung sich auf schönste Weise geistig und künstlerisch zu betätigen. Leider gibt es in unserer Gesellschaft noch nichts, was diesen Voraussetzungen auch nur annähernd entspräche. Aber jeder, der sich diesen spezifisch europäischen Idealen verschrieben hat, wird für dieses Ziel, das immer mehr einsichtige Menschen erstreben und begrüßen, seine besten Kräfte einsetzen.

Darf man nun das Prinzip der individuellen Freiheit eine Zeitlang außer acht lassen, um in heißem Bemühen zuerst den wirtschaftlichen Aufbau zu verbessern? Ein gebildeter und kluger russischer Gelehrter hat einmal sehr geschickt diesen Standpunkt mir gegenüber vertreten, indem er den Erfolg von Zwang und Terror – wenigstens am Anfang – in dem gut funktionierenden russischen Kommunismus mit dem Versagen der deutschen Sozialdemokratie nach dem Weltkrieg verglich. Er überzeugte mich nicht; kein Ziel ist so hoch, daß es unwürdige Methoden rechtfertigte. Gewalt mag manchmal sehr rasch mit Hindernissen aufgeräumt haben, aber sie ist noch niemals schöpferisch gewesen.

Vor einer Versammlung für die Freiheit der Meinung (1936)

Wir sind hier heute zusammengekommen, um die von der Verfassung der Vereinigten Staaten garantierte Freiheit der Meinungsäußerung und die Freiheit der Lehre zu verteidigen. Unter diesem Zeichen wollen wir die Aufmerksamkeit der geistig Schaffenden auf die großen Gefahren lenken, die jetzt diesen Freiheiten drohen.

Wie konnte das geschehen? Warum ist die Gefahr heute größer als in den vergangenen Jahren? Durch die Zentralisierung der Produktion ist das Produktionskapital in die Hände von nur wenigen Bürgern dieses Landes geraten. Diese kleine Gruppe beherrscht fast ausschließlich die Schulen und Zeitungen des Landes. Gleichzeitig übt sie einen unerhörten Einfluß auf die Regierung aus. Das allein würde schon eher zu einer ernsten Bedrohung der geistigen Freiheit der Nation ausreichen. Aber hinzu kommt, daß diese wirtschaftliche Konzentration ein bislang noch unbekanntes Problem mit sich brachte: die ständige Arbeitslosigkeit arbeitsfähiger Menschen. Die Bundesregierung ist zwar bemüht, die wirtschaftlichen Vorgänge durch eine systematische Kontrolle zu meistern, d.h. das sogenannte Spiel der

freien wirtschaftlichen Kräfte in Angebot und Nachfrage einzuschränken.

Aber die Umstände sind stärker als die Menschen. Die herrschende wirtschaftliche Minderheit, bisher autonom und niemandem verantwortlich, widersetzt sich den Einschränkungen ihrer Handlungsfreiheit, die das Wohl des Volksganzen erfordert. Zur Verteidigung ist ihr jedes legale Mittel recht. Wir sind deshalb nicht überrascht, daß sie ihren ganzen Einfluß auf Schule und Presse aufbietet, um eine Aufklärung der Jugend in diesem Punkt zu verhindern, eine Aufklärung, die für die gesunde und friedliche Lebensentwicklung in diesem Lande einfach unerläßlich ist.

Wir haben deshalb neuerdings wiederholt mit ansehen müssen, wie angesehene Universitätslehrer gegen den Willen ihrer Kollegen entlassen wurden, Vorfälle, über welche die Presse die Öffentlichkeit nur unvollständig unterrichtete. Dem Druck dieser wirtschaftlich herrschenden Minderheit verdanken wir auch die unselige Einrichtung des Lehrereides, die unsere Lehrfreiheit einschränken soll. Ich brauche nicht näher darauf einzugehen, daß freie Lehre und freie Meinungsäußerung in Schrift und Presse zur Grundlage einer gesunden und natürlichen Volksentwicklung gehören. Die Lektionen der Geschichte – besonders ihre allerletzten Kapitel – haben dies zur Genüge bewiesen. Daher muß jeder mit letzter Ener-

gie für die Erhaltung und Erweiterung dieser Freiheiten eintreten und seinen ganzen Einfluß aufbieten, um die öffentliche Meinung über die drohenden Gefahren auf dem laufenden zu halten. Diese Schwierigkeiten werden nur behoben, wenn unser gesamtes Wirtschaftsproblem in demokratischer Weise gelöst wird; aber nur die Erhaltung der freien Meinungsäußerung kann die Grundlage zu solcher Lösung bilden. Sie ist das einzige Mittel zur Verhütung des ärgsten Unheils.

Wir wollen daher alle Kräfte zusammennehmen; wir wollen unermüdlich auf der Hut sein, damit es nicht später einmal von der Elite dieses Landes heißt: Furchtsam und kampfflos lieferten sie das Erbe aus, das ihnen von ihren Vorfahren überkommen war – ein Erbe, dessen sie nicht würdig gewesen.

Atomkrieg oder Friede

I (1945)

Durch das Freiwerden der Atomenergie ist kein neues Problem entstanden. Nur ein vorhandenes muß um so dringlicher gelöst werden. Wir wurden mehr quantitativ als qualitativ getroffen. Solange souveräne Staaten über große Macht verfügen, ist der Krieg unvermeidlich. Wir wissen nicht wann, wir wissen nur, daß er ausbrechen wird. Freilich galt das auch schon vor der Erfindung der Atombombe. Was sich geändert hat, ist einzig die Zerstörungskraft des Krieges.

Ich glaube nicht, daß ein Krieg, der mit Atombomben ausgefochten wird, die Zivilisation wegfegen kann. Vielleicht wird er zwei Drittel der Erdbevölkerung vernichten, aber es würden noch immer denkfähige Menschen und noch immer Bücher übrigbleiben, um aufs neue anzufangen und die Zivilisation wieder herzustellen.

Meiner Meinung nach sollte man das Geheimnis der Bombe nicht an die Organisation der Vereinten Nationen ausliefern. Auch nicht an die Sowjetunion. Das wäre genau so, als wenn ein Mann mit Kapital einen anderen zur Mitarbeit an einem Unternehmen auffordert und ihm von vornherein die Hälfte seines Geldes aushändigt. Der andere könnte ein Konkur-

renzunternehmen eröffnen, während man doch auf seine Mitarbeit gerechnet hatte. Man sollte das ganze Geheimnis der Bombe einer Weltregierung übertragen, und die Vereinigten Staaten sollten sich sofort dazu bereit erklären. Die Vereinigten Staaten, die Sowjetunion und Großbritannien als die drei Staaten mit größter Militärmacht müßten diese Weltregierung gründen. Alle drei zusammen sollten ihr die gesamte Militärmacht übertragen. Gerade daß es sich dabei nur um drei Staaten mit größerer Militärmacht handelt, sollte die Errichtung einer solchen Regierung erleichtern und nicht erschweren. Da sich das Geheimnis der Atombombe im Besitz der Vereinigten Staaten und Großbritanniens, nicht aber der Sowjetunion befindet, sollten diese die Sowjetunion auffordern, einen ersten Entwurf für die Verfassung der beabsichtigten Weltregierung vorzubereiten und vorzulegen. Damit würde man das bereits vorhandene Mißtrauen der Russen zerstreuen, das sie nur deshalb hegen, weil man das Geheimnis der Bombe ja ausschließlich wahrt, um sie von ihrem Besitz auszuschließen. Voraussichtlich wird der erste Entwurf nicht der endgültige sein, aber die Russen würden das Gefühl bekommen, daß die Weltregierung ihnen ihre Sicherheit beläßt.

Es wäre weise, wenn ein einzelner Amerikaner, ein einzelner Brite und ein einzelner Russe über die-

se Verfassung verhandelten. Sie könnten dabei Ratgeber zuziehen, aber diese Ratgeber dürften sich nur auf Befragen äußern. Denn ich glaube, drei Personen könnten wohl eine für alle annehmbare Konstitution zustande bringen. Sechs oder sieben oder noch mehr Personen würden das wahrscheinlich nicht schaffen. Haben aber die drei großen Nationen eine Verfassung entworfen und angenommen, dann sollten die kleineren zur Teilnahme an der Weltregierung eingeladen werden. Sie könnten sich natürlich nach Belieben ausschließen und auch dabei ihre völlige Sicherheit bewahren, doch bin ich überzeugt, daß sie sich gern zur Teilnahme entschließen. Selbstverständlich wären sie berechtigt, Änderungen in der Verfassung vorzuschlagen, welche die ›großen Drei‹ verfaßt hatten. Aber die ›großen Drei‹ sollten den Anfang machen und die Weltregierung ins Leben rufen, unbeschadet der Teilnahme der kleinen Staaten. Die Zuständigkeit der Weltregierung würde sich auf alle militärischen Dinge erstrecken und nur noch *eine* weitere Machtbefugnis benötigen, nämlich sich in allen Ländern dort einzuschalten, wo eine Minderheit die Mehrheit unterdrückt und damit Unruhe stiftet, die zum Kriege führt. Zustände, wie sie in Argentinien und Spanien bestehen, müßten untersucht werden. Die alte Ansicht von der Nicht-Einmischung muß verschwinden, denn nur dann bleibt der Friede erhalten. Mit

der Errichtung dieser Weltregierung darf nicht gewartet werden, bis in allen drei Ländern die gleichen Freiheitsbedingungen bestehen. In der Sowjetunion herrscht allerdings eine Minderheit, doch bedeuten m. E. diese inneren Zustände an sich noch keine Bedrohung des Weltfriedens. Man darf nicht vergessen, daß das russische Volk noch keine langjährige politische Schulung besitzt und daß die Minderheit alle die Änderungen zur Verbesserung der russischen Zustände nur deshalb durchgeführt hat, weil die Mehrheit noch nicht dazu imstande war. Wäre ich ein Russe von Geburt, würde ich mich wahrscheinlich auch mit dieser Situation abgefunden haben.

Bei der Errichtung einer Weltregierung mit ausschließlicher Militärgewalt wäre eine Verfassungsänderung der drei Großmächte nicht erforderlich. Es müßte den drei Vertretern, welche die Verfassung fertigstellen, überlassen bleiben, Mittel und Wege für eine gedeihliche Zusammenarbeit der drei verschiedenen Staatsformen zu finden.

Ob ich eine Tyrannei der Weltregierung befürchte? Aber natürlich. Doch mehr noch befürchte ich den Ausbruch eines neuen oder mehrerer Kriege. Jede Regierung ist in gewisser Weise von Übel. Aber eine Weltregierung ist dem größeren Übel der Kriege vorzuziehen, ganz besonders bei deren erhöhter Zerstörungskraft. Wenn wir eine solche Weltregierung nicht

auf dem Wege der Verständigung errichten, so glaube ich, kommt sie ganz von selbst, und zwar in viel gefährlicherer Form. Denn Krieg oder Kriege werden damit enden, daß eine Macht siegt und mit überwältigender Militärmacht die übrige Welt beherrscht.

Nachdem wir das Atomgeheimnis besitzen, dürfen wir es nicht wieder verlieren, und das eben würden wir riskieren, wenn wir es an die Vereinten Nationen oder an die Sowjetunion abtreten. Freilich muß darüber Klarheit herrschen, daß wir die Bombe nicht aus Gründen der Macht, sondern nur in der Hoffnung geheimhalten, durch eine Weltregierung den Frieden zu bewahren. Diese Weltregierung aber ins Leben zu rufen, werden wir alle unsere Kräfte einsetzen.

Ich weiß es sehr wohl zu würdigen, wenn andere eine langsamere Entwicklung zur Weltregierung empfehlen, auch dann, wenn sie dieses letzte Ziel durchaus billigen. Das Schlimme bei einem schrittweisen Vorgehen auf das endgültige Ziel ist nur, daß wir währenddessen die Bombe noch weiter geheimhalten und die anderen, die sie nicht besitzen, mit unseren Gründen nicht überzeugen. Schon dadurch entsteht Furcht und Mißtrauen, was zur Folge hat, daß sich die Beziehungen der rivalisierenden souveränen Staaten gefährlich verwickeln können. Wer also denkt, daß er sich Schritt für Schritt dem Weltfrieden nähern kann, der trägt durch sein langsames

Tempo nur zu einem neuen Kriegsausbruch bei. Auf diese Weise dürfen wir keine Zeit mehr verlieren. Soll der Krieg vermieden werden, muß schnell gehandelt werden. Wir werden das Geheimnis auch nicht mehr lange allein besitzen. Ich kenne den Einwand, andere Länder hätten für die Entwicklung der Atombombe nicht genügend Geld, wodurch uns das Geheimnis noch lange Zeit verbliebe. Es ist ein Fehler, der oft in diesem Lande gemacht wird, die Dinge nur nach ihrem Geldwert zu bemessen. Wenn andere Länder nur das nötige Material und die nötigen Menschen haben und zur Entwicklung der Atomenergie einsetzen wollen, können sie das ohne weiteres tun, denn was nötig ist, sind Menschen und Material und der Entschluß, sie zu gebrauchen, nicht aber Geld.

Ich betrachte mich nicht als den Vater der befreiten Atomenergie. Ich habe nur eine indirekte Rolle dabei gespielt. Tatsächlich habe ich nicht vorausgesehen, daß sie noch zu meinen Lebzeiten frei würde. Ich habe nur an ihre theoretische Möglichkeit geglaubt. Praktisch brauchbar wurde sie erst durch die zufällige Entdeckung der Kettenreaktion, und diese konnte ich nicht voraussehen. Sie wurde von Hahn in Berlin entdeckt, welcher noch falsch interpretierte, was er entdeckt hatte. Die korrekte Interpretation gab Lise Meitner, die aus Deutschland flüchtete und ihre Informationen Niels Bohr aushändigte.

Ich glaube nicht, daß ein großes Zeitalter der Atomwissenschaft anbricht, wenn wir die Wissenschaft organisieren, wie man große Körperschaften organisiert; nur die Ausnutzung einer Entdeckung läßt sich organisieren, aber nicht diese selbst. Nur der freie Einzelmensch kann Entdeckungen machen. Organisieren kann man für den Wissenschaftler höchstens die Sicherung seiner Freiheit und die günstigen Arbeitsbedingungen. Zum Beispiel sollte man den Professoren der Naturwissenschaften an amerikanischen Universitäten ihre Lehrtätigkeit etwas erleichtern, um ihnen mehr Zeit zur Forschung zu lassen. Könnte man sich vorstellen, daß einer Organisation von Wissenschaftlern die Entdeckungen eines Charles Darwin gelingen?

Und ich glaube ebensowenig, daß die riesigen privaten Körperschaften der Vereinigten Staaten den Bedürfnissen unserer Zeit entsprechen. Wenn ein Gast von einem anderen Planeten dieses Land besuchte, müßte er sich nicht wundern, daß man hierzulande den privaten Körperschaften so viel Macht einräumt, ohne ihnen die entsprechende Verantwortung aufzubürden? Ich sage dies vor allem, um zu betonen, daß die amerikanische Regierung die Kontrolle über die Atomenergie behalten muß, nicht weil der Sozialismus notwendig wünschenswert wäre, sondern weil die Atomenergie von der Regierung entwickelt wurde und es undenkbar wäre, dieses Eigentum des Vol-

kes an einzelne oder Einzelgruppen auszuliefern. Was den Sozialismus angeht, so kann er leichter zum Krieg führen als der Kapitalismus, weil er eine noch größere Konzentrierung der Macht ermöglicht – es sei denn, er ist in dem Maße international, daß er eine Weltregierung hervorbringt, die über sämtliche Militärkräfte verfügt.

Wann wir die Atomenergie zu friedlichen Zwecken verwenden können, läßt sich unmöglich absehen. Bis jetzt ist nur die Verwendung von Uran in großen Mengen bekannt. Die Nutzung kleinerer Mengen, z.B. zum Antrieb eines Autos oder Flugzeugs, ist vorläufig noch nicht möglich, und man kann nicht sagen, wann das gelingen wird. Sicher wird es gelingen, aber niemand kennt den Zeitpunkt. Ebensowenig kann man voraussagen, ob häufiger vorkommende Stoffe als Uran zur Herstellung der Atomenergie geeignet sind. Wahrscheinlich werden alle zu diesem Zweck verwendbaren Stoffe zu den schwereren Elementen von hohem Atomgewicht gehören. Diese Elemente sind wegen ihrer geringeren Stabilität verhältnismäßig selten. Der radioaktive Zerfall kann die meisten dieser Stoffe schon zum Verschwinden gebracht haben. Wenn also die Entfesselung der Atomenergie der Menschheit großen Segen bringen kann, was zweifellos geschehen wird, so wird es bis dahin doch noch eine Weile dauern.

Ich selber besitze nicht die Kraft des Ausdrucks, um weite Kreise von der Dringlichkeit der Probleme zu überzeugen, die der menschlichen Rasse jetzt bevorstehen. Ich möchte daher einen anderen empfehlen, der diese Ausdruckskraft besitzt, nämlich Emery Reves, dessen Buch ›The Anatomy of Peace‹ das Thema des Krieges und die Notwendigkeit einer Weltregierung auf intelligente, klare, kurze und, wenn ich den oft mißbrauchten Ausdruck verwenden darf, auf dynamische Weise behandelt. Da ich noch nicht voraussehe, ob die Atomenergie in Kürze der Menschheit zum Segen ausschlägt, muß ich erklären, daß sie gegenwärtig noch eine Drohung bedeutet. Vielleicht ist das ganz gut so. Dadurch geängstigt, wird die Menschheit vielleicht ihre internationalen Beziehungen zu ordnen beginnen, was sie ohne diesen Druck gewiß niemals tun würde.

II (1947)

Seit Herstellung der ersten Atombombe wurde nichts getan, um die Welt vor einem neuen Krieg zu bewahren; aber es wurde viel getan, um die Zerstörungskraft des Krieges zu steigern. Ich bin nicht in der Lage, über die Entwicklung der Atombombe aus erster Hand zu berichten, da ich auf diesem Gebiet nicht arbeite. Aber jene, die es tun, haben doch so viel durchblicken lassen, daß man eine erhöhte Wir-

kung der Bombe annehmen muß. Man kann gewiß mit der Möglichkeit rechnen, daß man eine Bombe von ganz anderen Ausmaßen bauen wird, die ein viel größeres Gebiet zu zerstören vermag. Auch ist es durchaus glaubhaft, daß man in steigendem Maße radioaktive Gase verwenden wird, die sich über weite Strecken verteilen und alle Lebewesen töten, ohne die Gebäude zu beschädigen. Ich glaube, es erübrigt sich, über diese Möglichkeiten hinaus eine riesige Ausdehnung der bakteriologischen Kriegführung in Betracht zu ziehen. Ich bin sehr skeptisch, ob diese Kriegsort Gefahren bietet, die sich nur annähernd mit denen des Atomkrieges vergleichen lassen. Auch rechne ich nicht mit der Gefahr einer Kettenreaktion, deren Ausmaß genügt, um Teile oder das Ganze unseres Planeten zu vernichten. Denn wenn dies durch eine menschliche Atomexplosion eintreten könnte, wäre es längst durch die Tätigkeit der kosmischen Strahlen geschehen, die ständig auf die Erdoberfläche treffen.

Aber zum Verständnis für das Ausmaß eines Atomkrieges braucht man sich nicht vorzustellen, daß die Erde gleich einer Nova in einer Sternexplosion untergeht. Eins ist sicher: Verhindert man einen solchen Krieg nicht, so wird er wahrscheinlich ungeahnte und noch heute nicht übersehbare Zerstörungen anrichten, so daß dann von unserer Zivilisation nur wenig übrigbleibt.

In den ersten zwei Jahren des Atomzeitalters ist noch ein anderes auffallendes Phänomen aufgetaucht. Die Öffentlichkeit ist zwar vor der schrecklichen Natur des Atomkrieges gewarnt worden, aber sie hat nichts dagegen unternommen, sondern die Warnung weitgehend aus ihrem Bewußtsein gestrichen. Eine unabwendbare Gefahr vergißt man am liebsten; wie man auch leicht eine Gefahr vergißt, gegen die alle möglichen Vorsichtsmaßnahmen getroffen sind. Das hieße in unserem Fall, daß man die drohende Gefahr getrost vergessen könnte, wenn die Vereinigten Staaten ihre Industrien zerstreuten und die Zentralisation ihrer Städte auflösten.

Ich darf in Parenthese bemerken, es ist besser, daß man nichts dergleichen getan hat; sonst wäre der Atomkrieg nur noch wahrscheinlicher geworden, denn dann wäre die übrige Welt überzeugt, daß wir ihn in Kauf nehmen und uns darauf einrichten. Aber während man alles tat, um den Schrecken des Atomkrieges zu steigern, wurde nichts getan, um den Krieg zu vermeiden; es gibt also keine Entschuldigung dafür, daß man seine Gefahren ignoriert.

Ich behaupte also, daß seit Herstellung der Atom-bombe nichts zur Vermeidung des Krieges getan wurde, obwohl die Vereinigten Staaten den Vereinten Nationen einen Vorschlag zur internationalen Kontrolle der Atomenergie überreichten. Denn es handelt sich

dabei um einen Vorschlag mit Bedingungen, und die Sowjetunion hat sich jetzt entschlossen, diese Bedingungen nicht anzunehmen.

Damit scheint man allerdings den Russen die Verantwortung für den Fehlschlag zuschieben zu können. Aber anstatt die Russen zu beschuldigen, sollten die Amerikaner lieber bedenken, daß sie ja selbst bis zur Begründung der internationalen Kontrolle und auch beim Scheitern der Kontrolle nicht auf den Gebrauch der Atomwaffe als reguläre Waffe verzichteten. Sie haben der Furcht der anderen Länder neue Nahrung gegeben, indem sie die Bombe als einen legitimen Bestandteil ihres Arsenal betrachten, solange sich die anderen Länder weigern, ihre Bedingungen für die internationale Kontrolle anzunehmen.

Die Amerikaner mögen ja fest entschlossen sein, keinen Angriffs- oder Präventivkrieg vom Zaun zu brechen. Sie mögen es für überflüssig halten, öffentlich zu erklären, daß sie nicht ein zweites Mal die ersten sein wollen, welche die Atombombe verwenden. Aber man hat dieses Land feierlich aufgefordert, auf den Gebrauch der Bombe zu verzichten – d. h. sie zu ächten –, und das hat es abgelehnt, wenn man nicht seine Bedingungen einer internationalen Kontrolle erfüllt.

Ich halte dieses Vorgehen für unrichtig. Auf den Gebrauch der Bombe nicht zu verzichten, mag ei-

nen gewissen militärischen Gewinn darstellen, sofern es ein anderes Land abhält, einen Krieg zu beginnen, in welchem die Vereinigten Staaten sie verwenden könnten. Aber was auf der einen Seite gewonnen wird, geht auf der anderen verloren. Denn eine Verständigung über die internationale Kontrolle der Atomenergie ist damit wieder in die Ferne gerückt. Militärisch mag das noch kein Nachteil sein, solange die Vereinigten Staaten allein und ausschließlich über die Bombe verfügen. Aber sobald ein anderes Land in die Lage kommt, die Bombe in genügender Menge herzustellen, wird sich das Fehlen einer internationalen Verständigung für die Vereinigten Staaten sehr nachteilig auswirken; denn wegen der Konzentrierung ihrer Industrien und wegen ihrer hochgradigen städtischen Entwicklung sind sie ja einem Angriff ganz besonders ausgesetzt.

Durch seine Weigerung, die Bombe zu ächten, solange es noch das Monopol daran besitzt, nimmt dieses Land noch auf andere Weise Schaden, indem es nämlich unterläßt, öffentlich zu dem ethischen Standard der Kriegführung zurückzukehren, auf den man sich vor diesem letzten Krieg in aller Form geeinigt hatte. Man sollte nicht vergessen, daß die Atom-bombe in diesem Lande als Präventivmittel hergestellt wurde, um damit ihrem Gebrauch durch die Deutschen, falls sie sie entdecken sollten, zuvor-

zukommen. Die Bombardierung der offenen Städte wurde durch die Deutschen begonnen und von den Japanern übernommen. Die Alliierten vergaltten Gleiches mit Gleichem – wie sich dann herausstellte, mit größerer Wirksamkeit – und waren moralisch dazu berechtigt. Aber ohne äußeren Anlaß, ohne ein Recht zur Repressalie oder Vergeltung wird der Besitz der Bombe mit der Weigerung, ihren Gebrauch außer zur Vergeltung zu ächten, zu einer politischen Absicht. Das ist kaum zu verzeihen.

Ich will damit nicht sagen, die Vereinigten Staaten dürften die Bombe nicht herstellen und nicht aufstapeln, denn ich glaube, das müssen sie; sie müssen ein anderes Volk, falls es auch in den Besitz der Bombe gelangt, von einem Atomkrieg abschrecken können. Aber die Abschreckung sollte der einzige Grund für die Aufstapelung der Bomben sein. Ebenso sollten die Vereinten Nationen über die Bombe verfügen, sobald sie eigene Streitkräfte und Waffen besitzen. Auch sie sollten die Bombe nur führen, um rebellische Staaten an einem Atomangriff zu hindern, und sie nicht nach eigenem Belieben verwenden, ebensowenig wie die Vereinigten Staaten oder andere Mächte. Einen Vorrat an Atombomben zu haben, ohne das Versprechen, nicht willkürlich damit umzugehen, bedeutet den Mißbrauch des Besitzes zu politischen Zwecken. Vielleicht hoffen die Vereinigten Staaten, auf die-

se Weise die Sowjetunion durch Furcht zur Annahme der internationalen Kontrolle der Atomenergie zu bewegen. Aber die Furcht steigert nur die Feindschaft und erhöht die Kriegsgefahr. Meines Erachtens beeinträchtigt dieses Verfahren den hohen Wert des Angebots einer internationalen Atomkontrolle.

Wir haben einen Krieg überstanden, in welchem wir uns dem beschämend tiefen ethischen Niveau des Feindes anpassen mußten. Aber anstatt uns heute von diesem Niveau zu erheben und die Heiligkeit des Lebens und die Sicherheit der Zivilbevölkerung wiederherzustellen, nehmen wir in Wahrheit die niedrigen Methoden unseres Feindes aus dem letzten Krieg in unsere Gegenwart hinüber. Auf diese Weise steuern wir einem neuen Krieg zu, erniedrigt durch eigene Wahl.

Vielleicht ist sich die Öffentlichkeit nicht ganz im klaren, daß in einem künftigen Krieg Atombomben in großen Mengen vorhanden sein werden. Vielleicht bemißt man die Gefahren noch nach den drei Bomben, die zum Ende des letzten Krieges explodierten. Vielleicht würdigt die Öffentlichkeit auch nicht genügend, daß Atombomben im Verhältnis zum angerichteten Schaden bereits das billigste Zerstörungsmittel für einen Angriff sind. Wenn die amerikanischen Politiker, die militärischen Führer und die Öffentlichkeit selbst sich nicht energischer zur Ächtung dieser

Waffe entschließen, dann wird der Atomkrieg kaum zu umgehen sein. Die Amerikaner müssen erkennen, daß sie nicht stärker dastehen, weil sie die Bombe haben, sondern schwächer, weil sie einem Atomkrieg leichter ausgesetzt sind; nur dann wird ihr Verhalten am Lake Success oder ihr Verhältnis zu Rußland von dem Geist erfüllt sein, der zur Verständigung führt.

Damit will ich nicht behaupten, die erwähnte amerikanische Ablehnung, den Gebrauch der Bombe zu ächten, sei der einzige Grund, warum bisher noch immer keine Verständigung mit der Sowjetunion über die Atomkontrolle erreicht wurde. Die Russen haben uns nicht im unklaren gelassen, daß sie alles tun, was in ihrer Macht steht, um die Bildung einer übernationalen Regierung zu verhindern. Sie verwerfen sie nicht nur auf dem Gebiet der Atomenergie, sie verwerfen sie prinzipiell und haben damit im voraus jeden Vorschlag zurückgewiesen, sich an einer beschränkten Weltregierung zu beteiligen.

Herr Gromyko hat ganz richtig als Quintessenz des amerikanischen Atomvorschlags die Unvereinbarkeit der nationalen Souveränität mit dem Atomzeitalter festgestellt. Er erklärt, die Sowjetunion könne diese These nicht annehmen. Seine Gründe sind völlig dunkel, ganz offenbar sind es Ausflüchte. Richtig ist nur, daß die Sowjetführer fürchten, bei einer internationalen Regierung die soziale Struktur des

Sowjetstaates nicht beibehalten zu können. Die Sowjetregierung ist aber entschlossen, ihre gegenwärtige soziale Struktur zu behalten, und die russischen Führer, die ihre große Macht dieser Struktur verdanken, werden keine Mühe scheuen, die Errichtung einer internationalen Regierung zu verhindern, sie mag Atomenergie oder sonst etwas kontrollieren wollen.

Die Russen werden wohl recht haben, daß sie ihre gegenwärtige soziale Struktur leicht einbüßen können; man bringt sie vielleicht mit der Zeit zur Einsicht, daß dieser Verlust geringer wäre als ihre Isolierung in einer Welt des Rechts. Doch im Augenblick lassen sie sich wohl von ihren Befürchtungen leiten, und man muß zugeben, die Vereinigten Staaten haben diese Befürchtungen noch vergrößert nicht nur in der Frage der Atomenergie, sondern in noch manch anderer Hinsicht. Tatsächlich verfolgen sie eine Rußlandpolitik, als hielten sie die Einschüchterung für den Gipfel aller diplomatischen Kunst.

Daß die Russen die Bildung eines internationalen Sicherheitssystems zu vereiteln suchen, ist nun freilich kein Grund für die übrige Welt, nicht damit zu beginnen. Man hat darauf hingewiesen, es sei die Art der Russen, sich mit allen Mitteln gegen eine Sache zu wehren, die nach ihrem Willen nicht geschehen soll. Geschieht sie dann doch, geben sie nach und passen sich der neuen Lage an. Es wäre also gut, die

Vereinigten Staaten und die anderen Mächte ignorierten das Veto, das die Russen jedem Versuch zur Schaffung einer internationalen Sicherheit entgegenzusetzen. Dabei brauchten sie die Hoffnung nicht aufzugeben, daß die Russen der Weltregierung beitreten werden, sobald sie das Vergebliche ihres Widerstandes erkennen.

Bisher haben die Vereinigten Staaten noch kein Interesse an der Sicherheit der Sowjetunion gezeigt. Sie waren an ihrer eigenen Sicherheit interessiert, ein charakteristisches Zeichen für die Konkurrenz der souveränen Staaten im Kampf um die Macht. Aber man kann nicht im voraus wissen, ob die russischen Befürchtungen nicht schwinden würden, wenn das amerikanische Volk seine Führer zwingt, die gegenwärtige internationale Anarchie künftig durch eine Politik des Rechts zu ersetzen. In einer Welt des Rechts wäre die russische Sicherheit ebensogroß wie die unsere; würde sich nun das amerikanische Volk von ganzem Herzen dieser Aufgabe widmen, was in einer Demokratie ja möglich sein sollte, so könnte das auf das russische Denken Wunder wirken.

Zur Zeit haben die Russen noch keinen überzeugenden Beweis erhalten, daß das amerikanische Volk jene Politik der militärischen Bereitschaft mißbilligt, die sie als Politik der überlegten Einschüchterung betrachten. Sie brauchen aber den Beweis, daß das

amerikanische Volk leidenschaftlich die Erhaltung des Friedens wünscht, und zwar durch eine übernationale Herrschaft des Rechts; erst dann werden sie einsehen, daß ihre Befürchtungen hinsichtlich einer Bedrohung ihrer Sicherheit durch die amerikanische öffentliche Meinung falsch waren. Ehe man nicht der Sowjetunion ein echtes, überzeugendes Angebot macht, befürwortet von einer wachgerüttelten amerikanischen Öffentlichkeit, hat man kein Recht, die russische Antwort vorauszusagen. Wahrscheinlich werden auch die Russen in ihrer ersten Entgegnung die Welt des Rechts noch zurückstoßen. Erst wenn sie begreifen, daß diese Welt auch ohne sie verwirklicht wird und ihre eigene Sicherheit nur zunehmen kann, müssen sich ihre Ansichten zwangsläufig ändern.

Ich vertrete den Standpunkt, man soll die Russen auffordern, einer zur Herstellung allgemeiner Sicherheit befugten Weltregierung beizutreten; sind sie nicht dazu bereit, soll man die übernationale Sicherheit auch ohne sie herbeiführen. Ich darf hier rasch einschieben, daß ich ein solches Vorgehen allerdings für sehr gefährlich halte. Es darf eben kein Zweifel aufkommen, daß das neue Regiment nicht eine Machtkombination gegen Rußland darstellt. Die künftige Weltregierung muß ihrer Zusammensetzung nach die Möglichkeit eines Angriffs- oder Prä-

ventivkriegs beträchtlich verringern. Ihre Interessen müssen umfassender und ihre Befugnisse größer und stärker sein als die jedes Einzelstaates. Bei einer geographisch größeren Ausdehnung wird sie militärisch schwerer zu besiegen sein. Nicht die Pflege einer nationalen Vorherrschaft, die im Kriege stets eine große Rolle spielt, sondern die nationale Sicherheit wird ihre Aufgabe sein.

Eine übernationale Regierung ohne Rußland kann sich um den Frieden verdient machen, wenn ihre Vertreter geschickt und aufrichtig sind. Immer muß deutlich bleiben, daß die Teilnahme Rußlands erwünscht ist. Rußland muß genau wissen – und das selbe gilt für alle Nationen der Organisation –, daß keine Strafmaßnahmen getroffen werden, falls eine Nation nicht beitreten will. Nehmen die Russen am Anfang noch nicht teil, so müssen sie immer die Sicherheit haben, daß sie auch später noch willkommen sind. Die Gründer der neuen Organisation müssen nie vergessen, daß der russische Beitritt das letzte Ziel ihres Aufbaus ist.

Dies sind nur allgemeine Gedanken; ein genauer Plan, nach welchem eine partielle Weltregierung die Russen zum Beitritt bewegen soll, ist nicht so leicht entworfen. Aber zwei Bedingungen sind mir klar: Die neue Organisation darf keine militärischen Geheimnisse haben, und es muß den Russen freistehen,

zu jeder Sitzung der Organisation ihre Beobachter zu entsenden, wenn dort neue Gesetze eingebracht, diskutiert und angenommen und politische Maßnahmen beschlossen werden. Damit würde man die große Geheimnisfabrik zerstören, in welcher schon so viel Argwohn hergestellt und in die Welt verschickt wurde.

Der militärische Sachverständige wird es freilich als einen Schlag empfinden, wenn man von einem Regime die Preisgabe aller militärischen Geheimnisse verlangt. Er hat gelernt, daß die Enthüllung dieser Geheimnisse kriegslüsterne Nationen sofort in die Lage setzt, sich die Welt zu erobern. (Was übrigens das sogenannte Geheimnis der Atombombe anlangt, so nehme ich an, daß die Russen ihm in Kürze durch eigene Forschung auf die Spur kommen.) Ich gebe zu, daß es riskant ist, militärische Geheimnisse freizugeben. Doch wenn erst mehrere Nationen ihre Kräfte zusammenschließen, können sie das Risiko auf sich nehmen; dann ist ja auch ihre Sicherheit gestiegen. Angst, Argwohn und Mißtrauen werden daraufhin allgemein abnehmen. Und die unerträglichen Spannungen, die in der Welt souveräner Staaten durch die wachsende Kriegsgefahr entstehen, würden sich bei zunehmendem Vertrauen auf den Frieden endlich lösen. Davon fasziniert, würde das russische Volk seine Führer vielleicht bewegen, ihre starre Haltung gegenüber dem Westen allmählich aufzugeben.

Die Mitgliedschaft in einem übernationalen Sicherheitssystem sollte meiner Meinung nach nicht von der Einhaltung streng demokratischer Grundsätze abhängen. Die einzige Forderung an alle Teilnehmer sollte darin bestehen, die Vertreter für die internationale Organisation – Versammlung und Rat – in jedem Mitgliedsstaat durch das Volk in geheimer Wahl zu bestimmen. Diese Abgeordneten müssen mehr ihr Volk und weniger ihre Regierung vertreten – was die friedliche Natur der Organisation noch unterstreichen würde.

Die Erfüllung weiterer demokratischer Bedingungen zu verlangen, erscheint mir nicht ratsam. Demokratische Einrichtungen und Maßstäbe sind das Ergebnis historischer Entwicklung, mehr, als man in den betreffenden Ländern annimmt. Das Aufstellen eines willkürlichen Maßstabes verschärft nur die ideologischen Unterschiede zwischen dem westlichen und dem Sowjetsystem.

Aber es sind gar nicht die ideologischen Unterschiede, welche jetzt die Welt auf einen neuen Krieg hindrängen. Wenn alle westlichen Nationen sich tatsächlich dem Sozialismus verschrieben und dabei ihre Souveränität beibehielten, ginge höchstwahrscheinlich der Kampf um die Macht zwischen Osten und Westen ruhig weiter. Die Leidenschaft, mit welcher man die Wirtschaftssysteme der Gegenwart er-

örtert, erscheint mir einfach unsinnig. Ob das Wirtschaftsleben Amerikas von verhältnismäßig wenigen beherrscht werden soll wie jetzt, oder ob diese wenigen vom Staat beherrscht werden, mag zwar wichtig sein, aber nicht so wichtig, um alle die Gefühle zu rechtfertigen, die dabei in Wallung geraten.

Ich würde gern sehen, wenn alle Staaten, aus denen sich der übernationale Staat zusammensetzt, ihre Militärkräfte zusammenlegten und nur ihre Ortspolizei behielten. Es wäre mir lieb, wenn sich diese Streitkräfte mischten und so verteilt würden, wie es früher mit den Regimentern des ehemaligen Österreich-ungarischen Kaiserreichs geschah. Dort huldigte man dem Grundsatz, daß Mannschaften und Offiziere eines Gebiets dem Reiche besser dienten, wenn sie nicht ausschließlich in ihrer eigenen Provinz stationiert waren, um nicht dort zum Gegenstand lokaler und rassischer Zwistigkeiten zu werden.

Es wäre mir wichtig, wenn sich die Befugnisse des übernationalen Regimes ganz und gar auf das Gebiet der Sicherheit beschränkten. Ich weiß allerdings nicht, ob dies möglich ist. Die Erfahrung mag dafür sprechen, ihm auch auf wirtschaftlichem Gebiet einige Rechte einzuräumen, da gerade hier in den heutigen Verhältnissen nationale Unruhen entstehen können, die vielfach den Keim zu gewaltsamer Auseinandersetzung in sich tragen. Aber es wäre mir lie-

ber, wenn die neue Organisation ihre Funktion auf die Aufgaben der Sicherheit beschränkte. Ebenso lege ich Wert darauf, daß sich dieses Regime durch den Ausbau der Vereinten Nationen errichten ließe, um das Bemühen um den Frieden nicht abreißen zu lassen.

Ich verhehle mir nicht die großen Schwierigkeiten beim Aufbau einer Weltregierung mit oder ohne Rußland. Ich sehe sehr wohl die Gefahren. Da ich nicht wünsche, daß einem Land, welches der übernationalen Organisation beigetreten ist, der Austritt gestattet wird, besteht möglicherweise die Gefahr eines Bürgerkriegs. Aber ich glaube, mit der Zeit kommt eine Weltregierung sowieso zustande; es handelt sich höchstens noch um die Frage, wieviel sie kosten darf. Sie wird kommen, selbst bei einem neuen Krieg; aber nach einem solchen Krieg wird es die Weltregierung des Siegers sein, die auf seiner militärischen Macht beruht und sich durch die dauernde Militarisierung der gesamten Menschheit erhält.

Aber ich glaube, sie kann auch durch Verständigung und durch die Kraft der Überredung zustande kommen, also zu einem geringeren Preis. Wenn sie auf diese Weise entstehen soll, genügt es freilich nicht, allein an die Vernunft zu appellieren. Die Stärke des östlich-kommunistischen Systems liegt darin, daß es den Charakter einer Religion angenommen

hat und die Gefühle einer Religion vermittelt. Wenn nicht die Sache des Friedens, der auf dem Recht beruht, genauso die Kraft und Begeisterung einer Religion auszuströmen vermag, hat sie kaum Aussicht auf Erfolg. So wartet auf die Männer, denen die sittliche Erziehung der Menschheit anvertraut ist, gewiß eine hohe Pflicht und eine große Gelegenheit. Ich denke, die Atomwissenschaftler haben sich überzeugt, daß sie das amerikanische Volk nicht mit Logik allein zur Wahrheit des Atomzeitalters führen können. Jene tiefe Kraft des Gefühls gehört dazu, die ein Grundelement der Religion ausmacht. Wollen wir hoffen, daß nicht nur die Kirchen, sondern auch die Schulen und Hochschulen und die führenden Presseorgane sich ihrer einzigartigen Verantwortung in dieser Hinsicht bewußt sind.

Bibliographische Notiz

Die Texte aus den Kapiteln »Philosophie« und »Politik« entstammen dem Buch Albert Einstein, Aus meinen späten Jahren, Stuttgart 1952.

Der Briefwechsel mit Sigmund Freud wurde 1933 zum ersten Mal vom Internationalen Institut für Geistige Zusammenarbeit (Völkerbund) veröffentlicht.

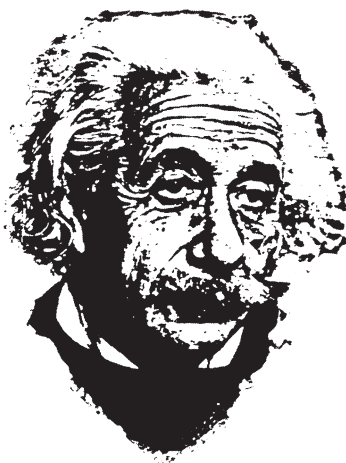
Die Ansprache zu Max Plancks sechzigstem Geburtstag erschien 1918 in Karlsruhe.

»Die Entwicklung der mechanistischen Auffassung« findet sich in »Physik als Abenteuer der Erkenntnis«, Leiden 1938, und wurde von Albert Einstein zusammen mit Leopold Infeld verfaßt.

Die Rede »Äther und Relativitätstheorie« erschien 1920 in Berlin.

»Die Entwicklung der Wissenschaft und jeder anderen schöpferischen, geistigen Tätigkeit erfordert eine innere Freiheit. Diese Freiheit des Geistes besteht darin, daß sich das menschliche Denken freimacht von den Einschränkungen autoritärer und sozialer Vorurteile und sich im geistlosen Einerlei des Alltags seine Unabhängigkeit bewahrt. Diese innere Freiheit ist eine seltene Gabe der Natur und wohl wert, daß der Einzelne nach ihr strebt.«

Albert Einstein



EIN GOLDMANN-BUCH