

Die Anfänge naturwissenschaftlicher Forschung.

Von

Walther Gerlach,

München.

(Nach einem Vortrag in der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg i. Br.)

„Geschrieben steht: Im Anfang war das Wort.
Hier stock ich schon; wer hilft mir weiter fort?
Ich kann das Wort so hoch unmöglich schätzen
Ich muß es anders übersetzen.
Wenn ich vom Geiste recht durchleuchtet bin
Geschrieben steht: Im Anfang war der Sinn.
Bedenke wohl die erste Zeile,
Daß deine Feder sich nicht übereile.
Ist es der Sinn, der alles wirkt und schafft?
Es sollte stehen: Im Anfang war die Kraft.
Doch, auch indem ich dieses niederschreibe,
Schon warnt mich was, daß ich dabei nicht bleibe.
Mir hilft der Geist! Auf einmal sehe ich Rat
Und schreibe getrost: Im Anfang war die Tat.“

Niemals wurde umfassender und prägnanter die Vielseitigkeit der menschlichen Denkmöglichkeiten ausgesprochen, niemals aber auch klarer ihre grundsätzliche Verschiedenheit, ja, ihre Gegensätzlichkeit zum Ausdruck gebracht als in diesen Worten des alten Faust.

Muß es da nicht geradezu grundsätzlich als unrichtig und unfruchtbar erscheinen, die Ergebnisse einer geistigen Fähigkeit, losgelöst von allen anderen zu betrachten? In der Tat zeigt uns die Geschichte der menschlichen Geistestätigkeit, daß weitaus die größte Zeit das Ringen der Geister um die Erfassung des Ganzen ging; alles Denken und Trachten stand unter der ausschließlichen Herrschaft der Philosophie, welche als letzte Instanz in aller Geistestätigkeit das Urteil über Richtigkeit oder Falschheit von Einzelwegen und damit jedes Erkenntnisinhaltes abgab; das letzte, durch die Größe und die Zeit in die es fällt, immerhin imponierende Beispiel ist HEGEL.

Diese Art von Philosophie, sagt KUNO FISCHER, strebte durch Spekulation nach einer Erklärung der Dinge, nach einem Weltsystem,

welches das All der Erscheinungen umfaßt; sie herrschte über ein weites Reich, dessen Provinzen herrenlos waren; „sie hatte gut reden, denn die beobachtenden Wissenschaften waren noch unmündige Kinder“. In diesen Sätzen ist — nicht zum ersten- und nicht zum letztenmal ¹⁾, aber in besonders einfacher und scharfer Form — der Unterschied zwischen zwei Erkenntnismethoden hervorgehoben, der absoluten Deduktion und der absoluten Induktion, der reinen spekulativen Anwendung der Denkkraft und der reinen Beobachtung und der Überzeugung von der Bedeutung des Beobachteten für das Weltbild. Aus letzterem wurde das, was wir heute als „die exakt-naturwissenschaftliche Methode“ bezeichnen. Wir fragen nach ihrem Anfang.

Um von vornherein jede Verwirrung der Begriffe, die in solchen methodologischen Problemen allzu häufig beobachtet wird, auszuschalten, seien die Fragen und die Verfahren, die wir zu ihrer Beantwortung einschlagen werden, an die Spitze gestellt. Das erste, was wir zu erfahren suchen, ist: Hat irgend jemand zu irgend einem Zeitpunkt, als allererster, ein Programm dieser Forschungsart aufgestellt. Das ist eine scheinbar rein historische Frage.

Das zweite ist: Wann begann eine Naturforschung von der Art, die wir heute noch üben. Hierbei bewegen wir uns auf Grund der Eigenart der naturwissenschaftlichen Forschung und ihrer Aussagen auf sicherem Boden; denn wir können aus Beispielen aus alter und neuer Zeit feststellen, wie man zu Fortschritten in der Erkenntnis gelangte. Wir wollen dies direkt als ein naturwissenschaftliches Verfahren zur Beantwortung unserer Frage bezeichnen, zum Unterschied gegen eine geisteswissenschaftliche Behandlung der naturwissenschaftlichen Methode. So verzichten wir völlig darauf, die geistigen Ursachen mit in Betracht zu ziehen, welche zu dieser Forschung führten, obwohl wir dieses für eine wichtige Frage halten. Aber bis auf einige wenige Fälle, in denen große Forscher der Vergangenheit sich über ihre eigene Person hierüber klar äußerten — wie z. B. KEPLER —, ist man hier auf Kombinationen und Hypothesen, also auf eine Wertung früherer Denkweise angewiesen; denn

¹⁾ Ich verweise z. B. auf W. WUNDT, Methodenlehre I. Abt., 2. Aufl., 1894, S. 261: „Wir verlangen, daß der Philosophie überall durch die Erfahrungswissenschaften der Boden bereitet werde.“ II. Abt., 1895, S. 642: „Nur wenn sie sich auf den vollen Unterbau der Einzelwissenschaften stützt, kann sie sich zugleich der Hoffnung hingeben, daß auch ihre Ergebnisse wieder klärend und fördernd auf die einzelne Forschung zurückwirken.“

Sinn der Forschung, Forschungsbedürfnis und Forschungsziel sind durchaus zeitgebunden. Um so mehr dürfen wir uns darüber wundern, daß wir rückwärts blickend eine bestimmte Forschungsmethode immer wieder finden, die sich zur Verbreiterung und Vertiefung des Wissens um die Natur erfolgreich erwies, die Forschungsmethode, welche auch heute noch unser Eindringen in die unseren Sinnen unmittelbar nicht zugänglichen Bereiche der Natur fördert. So müssen wir folgern, daß die Ausnützbarkeit dieser Methode noch nicht erschöpft ist und gerade darum darauf achten, daß sie solange rein und unverfälscht bewahrt wird, als sie uns noch weiter bringt. Hierin sehe ich die besondere Lehre einer historisch-naturwissenschaftlichen Betrachtung und Analyse.

ROGER BACON, der 1214 bis 1294 lebte, ist der erste, der in uns heute noch klar erkennbarer Weise das Primat der Philosophie für die Frage der Naturerkenntnis brach. Ob er der erste war, der so dachte, wissen wir nicht; aber von ihm stammt die erste schriftliche Aufzeichnung, deren Sinn wir heute ganz sicher verstehen; sie ist so klar gefaßt, daß wir sie geradezu zur Kennzeichnung eines Teiles der naturwissenschaftlichen Methode verwenden können. Naturerkenntnis erlangt man nicht, wenn man von Ganzheitsbetrachtungen ausgeht, sondern indem man durch eine experimentelle Analyse der einzelnen Teile der Natur zu ihr vordringt, — so würden wir heute sein Werk resümieren.

Er sagt: „Wir haben drei Mittel der Erkenntnis: Autorität, Denken und Experiment. Die Autorität hat keinen Wert, wenn ihre Begründung nicht nachgewiesen wird; beim Denken unterscheiden wir ein Sophisma von einer Demonstration, indem wir den Schluß durch ein Experiment verifizieren. Die experimentelle Wissenschaft ist die Herrin der spekulativen Wissenschaften und hat drei große Vorrechte: Zuerst prüft und verifiziert sie die Folgerungen anderer Wissenschaften. Zweitens: Sie entdeckt in den Begriffen, womit andere Wissenschaften sich befassen, herrliche Resultate, zu denen diese Wissenschaften unfähig sind. Drittens: Sie erforscht die Geheimnisse der Natur durch ihre eigenen Kräfte.“

BACON hat also im Sinne unserer ersten Frage als erster ein methodisches Programm für eine der damaligen völlig entgegengesetzte Forschungsart aufgestellt. Hiermit war der Kampf zwischen Philosophie und Naturforschung entbrannt, der 300 Jahre später zu der Begründung der Physik durch GALILEI führte, zur gleichen Zeit

als der zweite BACON, BACON VON VERULAM die Oberherrschaft der induktiven Naturforschung über die bisher übliche Naturphilosophie in glänzender Darstellung, inhaltlich aber kaum über ROGER BACONS Programm hinausgehend, fordert; die Form, in welche er die Angriffe gegen scholastische Naturforschung kleidet, macht eigentlich den Hauptwert seiner Schriften aus; doch gehen seine Gedanken auch in die Tiefe der grundsätzlichen Fragen der Naturerkenntnis. Das Forschungsexperiment, die Erfahrung, welche man sucht (nicht die, welcher man durch Zufall begegnet), ist das einzige Mittel zur Erforschung der Wahrheit; es hat wenig Zweck, die Natur zu beobachten, wenn man sie sich selbst überläßt, weit deutlicher offenbart sie sich, wenn man ihr kunstgerecht Zwang¹⁾ antut. Man soll nicht erdichten, sondern auffinden was die Natur tut. Nicht nur zur Erlangung von Erkenntnissen, sondern auch zur Prüfung von Folgerungen ist das Experiment erforderlich. Mit unseren Sinnen kommen wir nicht weit, entweder lassen sie im Stich oder sie täuschen. Deshalb richte man es so ein, daß die Sinne nur über den Versuch, die Versuche aber über die Sache das Urteil fällen. Ohne schrittweises Vorgehen vom einzelnen auf das Zusammengesetzte und erst zuletzt zum Allgemeinsten kann die Wissenschaft nicht gedeihen. „So soll man dem menschlichen Geist keine Flügel, sondern eher ein Bleigewicht begeben, welches alles Springen und Fliegen hemmt“, — ein Wunsch, der richtig verstanden von allen erfolgreichen Forschern befolgt wurde. BACON selbst aber war trotz der Verherrlichung des Experiments eben doch nur ein Theoretiker, der nicht im Laboratorium, sondern am Schreibtisch seine Forschungstheorie entwickelte; so ist das, was er sagt, zwar richtig, aber es fehlt in seiner Methodik ein integrierender Teil, welcher der naturwissenschaftlichen Methode ebenso eigen ist, wie das Experiment: Die Hypothese, die Arbeitshypothese, das Gedankenexperiment, aus welchem durch Deduktion ein neues Experiment abgeleitet wird, das sinnvoll ist und so zu einer planmäßigen Erforschung eines Gebiets führt. Die hohe Bedeutung dieses Forschungsmittels, durch welches Induktion und Deduktion, Theorie und Experiment zur Einheit der exakt-naturwissenschaftlichen Methode verbunden werden, hat JOHANNES KEPLER umfassend erkannt und bewiesen.

¹⁾ Man erinnere sich der gegenteiligen Ansicht GOETHES bei der Diskussion von NEWTONS Versuchen über die Beugung des Lichtes beim Durchgang durch einen Spalt!

ROGER BACON hat also als erster ein neues Programm für die naturwissenschaftliche Forschung aufgestellt. Aber — wurde auch nach ihm gearbeitet? das scheint nicht der Fall. Und wir gehen wohl nicht fehl in der Annahme, daß sein Werk deshalb nicht die Bedeutung erlangte, welche es verdiente, weil ihm selbst keine naturwissenschaftliche Entdeckung gelang. So ist er eben trotz seiner klaren Geisteshaltung kein Naturforscher — und schließlich hat er ja die experimentelle Methode nicht erdacht, sondern sie nur aus ihrer gänzlichen Verschüttung herausgeholt und ihre Bedeutung wieder erkannt, die 1500 Jahre früher in begrenztem Umfang schon bewiesen war. Dieses wissen wir nicht aus solchen philosophischen Kampfschriften, sondern auf Grund der damals mit Hilfe des Experiments gemachten Entdeckungen.

Und damit kommen wir zur zweiten Frage: Welcher Methode verdanken wir die naturwissenschaftlichen Entdeckungen, die Erkenntnisse über Naturgesetze, über den Ablauf und das Wirken unsichtbarer, unfühlbare Vorgänge?

Es ist keine Frage, daß die wissenschaftliche Entwicklung mit der genauen Beobachtung und quantitativen Vermessung von Naturerscheinungen begann. So könnte man meinen, daß die Disziplin sich zuerst entwickelte, in welcher die meisten experimentellen Tatsachen bekannt waren. Daß dies nicht richtig ist, sieht man an der Entwicklung der Optik. Schon dem Altertum waren eine Fülle von geometrisch-optischen Tatsachen bekannt. PTOLEMÄUS gibt Messungen über die Reflexion des Lichtes an ebenen und sphärischen Spiegeln und über die Brechung des Lichtes. Aber dies allein kann nicht als Physik angesprochen werden; denn es blieb bei der Messung einzelner Vorgänge, es fehlte die Beziehung schon der Messungen zueinander und erst recht die Frage nach dem Grunde für die Änderung des Lichtweges.

Nach ersterem mit Erfolg gesucht zu haben, scheint das Verdienst von WILLEBROD SNELL: Er fand das bekannte Brechungsgesetz vom sinus des Einfallswinkels und Ausfallswinkels. $\sin \alpha / \sin \beta$ ist für jede Körperkombination eine Konstante, unabhängig von der Größe des Einfallswinkels. Das ist eine Art von physikalischen Gesetzen: Die einheitliche Darstellung der Abhängigkeit quantitativ sehr verschiedener Größen voneinander in mathematischer Formulierung. Sie enthebt uns, wie an diesem einfachen Beispiel ganz trivial zu sehen ist, der Notwendigkeit, bei der Behandlung optischer Strahlengänge alle Winkel zu messen, sie gibt die Möglichkeit einen

Lichtstrahl in jede gewünschte Richtung zu lenken. Aber sie gibt uns in keiner Weise einen Einblick in das Geschehen, weder was der Lichtstrahl ist noch warum die Änderung seiner Richtung zustande kommt. Jedoch zeigt ein solches einfaches empirisches Gesetz eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, daß man Zusammenhänge gefunden hat, die wirklich zusammengehören, daß man eine einfache und sinnvolle Relation aufgestellt hat.

Wie sich schon ein solches „Gesetz“ für die Förderung der Naturerkenntnis auswirkt, sieht man an der schon lange versuchten, nun sofort möglichen Behandlung des Haupt- und Nebenregenbogens als Folge ein- und zweimaliger Reflexion und Brechung in den Wassertöpfchen.

Weit wichtiger wurde aber SNELLS Gesetz als Grundlage für die Überlegungen von CHRISTIAN HUYGENS über die Natur des Lichtes. Hiermit wird die optische Forschung erst Physik. HUYGENS hat eine Arbeitshypothese aufgestellt: Die Vorstellung einer Wellenbewegung, die sich zwar nach mechanischen Gesetzen, aber auch ohne die Vermittlung wägbarer Materie in einem hypothetischen Äther ausbreitet. Die Brechung des Lichtes ergibt sich dann durch die weitere Annahme, daß die Geschwindigkeit des Lichtes in jedem Stoff eine andere Größe hat; diese Hypothese verlangt aber zwingend das SNELLSche Brechungsgesetz, daß also nicht zwischen den Winkeln, sondern ihrem sinus die erwähnte Beziehung besteht. Dies war ein Erfolg, wenn auch seine Annahme über die Änderung der Lichtgeschwindigkeit erst viel später bewiesen wurde; aber er zeigte die Bedeutung der Lichtgeschwindigkeitsmessung für den einfachsten optischen Vorgang und stellte so ein neues experimentelles Problem. Konnte HUYGENS hierdurch also seine Hypothese nicht beweisen, so suchte er — wir bringen dies als beispielgebend für die Naturforschung — sie durch andere Tatsachen zu verankern. Gerade war die Doppelbrechung des isländischen Spats entdeckt worden, die Erscheinung, daß das Licht unter bestimmten Bedingungen bei Eintritt in diesen Kristall in zwei Strahlen verschiedener Richtung zerlegt wird. HUYGENS folgerte im Sinn seiner Hypothese, daß die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Richtungen dieses Kristalls verschieden sei um einen Betrag, der sich ihm aus der Messung der Doppelbrechung ergab. Hiermit hatte er das nach seiner Theorie einzig erforderliche Bestimmungsstück, um für alle beliebigen Richtungen des Lichteinfalls die Doppelbrechung vorauszuberechnen; und wieder fand er durch die nun folgende experimentelle Kontrolle seine Rechnungen auf das genaueste bestätigt.

Gerade im Vergleich mit NEWTON, der sich zur gleichen Zeit mit den gleichen Problemen befaßte, kommt die Bedeutung der Hypothese, das Durchdenken ihrer Konsequenzen und die Prüfung an der Erfahrung, soweit es die Hilfsmittel der Zeit zulassen, so recht zum Ausdruck. Und so haben wir dies Beispiel an den Anfang gesetzt für unsere Untersuchung, in welcher Weise man Erkenntnisse über die Natur gewinnt. Nach dem Abschluß von HUYGENS Lebenswerk war nicht bewiesen, daß das Licht eine Wellenbewegung des Äthers ist, aber es war sicher, daß dies eine Anschauung über das Wesen des Lichtes ist, die mit aller vorliegenden Erfahrung im Einklang war; das heißt aber nichts anderes, als daß sie die vorliegenden Erfahrungen einheitlich zu ordnen vermochte, und daß die aus ihr folgenden Konsequenzen sich durch quantitative Messungen als naturwahr bestätigen ließen; und schließlich stellte sie der kommenden Physik ganz bestimmte Probleme. Alles zusammen ist aber das höchste, was wir von einer Theorie überhaupt verlangen können.

Doch erwies sich lange Zeit später, daß in HUYGENS Wellentheorie des Lichtes ein grundsätzlicher Fehler war: er hatte, durch seine mechanischen Studien über Stoß und elastische Wellen geleitet, das Licht als longitudinale Schwingung des Äthers betrachtet. NEWTON hatte wohl erkannt, daß eine solche Art von Schwingung nicht alles erklären könne, was HUYGENS und er selbst am isländischen Doppelspat gefunden hatte; aber er war so sehr Gegner der Wellenauffassung überhaupt, vielleicht auch so stark im mechanischen Denken verankert, daß er auf die Annahme transversaler Wellen gar nicht verfiel. Erst Anfang des letzten Jahrhunderts lieferten der Spiegelversuch von MALUS und die optischen Experimente FRESNELS die Lehre von der Transversalität der Lichtschwingungen, der Ätherschwingung senkrecht zu ihrer Fortpflanzungsrichtung. Trotz dieser doch völlig anderen Theorie zeigte sich, daß man alles, was man früher von der Ausbreitung des Lichtes wußte — eben mit Ausnahme des MALUS-Versuches — auch mit der falschen Hypothese über die Schwingungsart des Lichtes richtig darstellen konnte.

Dem Nicht-Naturforscher mag das sonderbar vorkommen. Wir aber sind uns der Vergänglichkeit von Theorien und Bildern bewußt und schätzen sie deshalb auch nur dann hoch ein, wenn sie zur Förderung der Naturerkenntnis dienen: dann haben sie ihre Schuldigkeit getan. Es wird oft vergessen, daß eine der wichtigsten

Grundlagen der Thermodynamik, der klassischen Lehre von der Wärme, das CARNOTSche Prinzip abgeleitet wurde mit der Annahme, daß die Wärme ein Stoff ist, welcher vom warmen zum kalten Körper übergehend diesen erwärmt, eine Lehre, die erst endgültig mit der Entwicklung der kinetischen Theorie durch CLAUSIUS verlassen wurde, also zu dem Zeitpunkt, in dem die klassische Mechanik von den grobsinnlich wahrnehmbaren Körpern auf die damals noch hypothetischen Atome in der Atommechanik übertragen wurde. Sie wissen, daß heute ernste Zweifel an der Richtigkeit dieses Bildes wieder auftauchen; und vielleicht wird es den Weg der elastischen Lichtwellen und der materiellen Wärme gehen; aber daß sie alle uns befähigten zu Neuem vorzustoßen, weil sie im Zusammenhang mit dem Experiment standen und weil sie durch neue Experimente schließlich widerlegt wurden, das macht sie zu klassischen Beispielen der naturwissenschaftlichen Forschung. In beiden Fällen lieferte die neue Anschauungsweise im Laufe der Entwicklung der durch sie angeregten Forschung mehr als die alte und auch solches, was die alte gar nicht hätte liefern können. So entstand aus FRESNELS transversalen Lichtschwingungen und FARADAYS Induktionsversuchen die „Physik des Äthers“, die ihren Höhepunkt in der MAXWELLSchen Theorie und den durch sie angeregten HERTZschen Wellenversuchen erreichte.

Wir sehen hieraus, welche Art von Forschung wir als naturwissenschaftlich betrachten, und wollen nun Umschau halten, wie sie sich entwickelte, wie sie begann. Wir legten einen besonderen Wert — wenn auch keineswegs ausschließlich — auf das Experiment. Hier gibt es aber zwei verschiedene Arten; erstens die genaue Beobachtung und die quantitative, d. h. zahlenmäßige Erfassung des Ablaufes einer Erscheinung, die sich unseren Sinnen, oder auch den, der Erweiterung unserer Sinne dienenden Meßinstrumenten von selbst darbietet; zweitens: die ebenso quantitative Verfolgung eines Vorganges, den wir durch unser Zutun, durch eine künstliche Vereinigung von Bedingungen hervorbringen, die wir in der Natur nicht antreffen. Ein solches Forschungsexperiment ist im allgemeinen nur dann sinnvoll, wenn ihm eine bestimmte Hypothese, eine Modellvorstellung zugrunde liegt, und wenn jede der zusammengefühten Bedingungen für sich schon bekannt ist. Der Sinn eines solchen Experimentes kann vielseitiger Art sein. Von besonderer Bedeutung dürfte der Fall sein, wenn man auf diese Weise Ereignisse künstlich hervorrufen kann, die man anderwärts

in der Natur schon beobachtete, so daß man diese nun „erklären“ kann, während die Bedingungen für ihren Ablauf unmittelbar nicht wahrnehmbar sind. Ich erinnere an den auf solche Weise erreichten Einblick in das Wesen der Nordlichterscheinung. Ein anderes hervorstechendes Beispiel ist der planmäßige Eingriff in einen beobachteten Vorgang und die Messung seiner Folgen, um hieraus zunächst die Bedeutung einzelner Bedingungen quantitativ zu erfassen. Doch wir wollen lieber statt zu systematisieren uns an die tatsächlich ausgeführte Forschung halten.

Das messende Experiment war dem Altertum bekannt, nicht aber das Forschungsexperiment. Nur in ganz vereinzelt Fällen variierte man die Versuchsbedingungen, wie z. B. ARCHIMEDES die Armlänge des Hebels, wobei aber die ohne Absicht gemachte Beobachtung des Einflusses der Hebellänge der Beweggrund war, nicht ein planmäßiges Suchen auf Grund einer Vorstellung. FRONTINUS wußte — um ein anderes bezeichnendes Beispiel zu nennen —, daß die Ausflußgeschwindigkeit des Wassers aus einem Loch von der Höhe der darüberliegenden Wassersäule abhing — aber er kam gar nicht auf den Gedanken, diese auch in Beziehung zu setzen und gar den Ausfluß von Flüssigkeiten mit dem Fall fester Körper zu kombinieren. So mag uns manches absprechende Urteil über dieses gewiß von einem Erkenntnistrieb beherrschte, aber phantasielose Messen verständlich erscheinen, wenn es auch objektiv sehr falsch ist, daß z. B. PLATO sagt: „Die wahren Astronomen rechne ich zu den weisen Männern, aber nicht die, welche wie HESIOD und alle anderen ihm gleichen Astronomikaster diese Wissenschaft dadurch betreiben wollen, daß sie Auf- und Untergang der Gestirne und dergleichen beobachten, sondern die, welche die acht Sphären des Himmels und die große Harmonie des Weltalls erforschen.“ Nun, wir wissen, wie sehr COPPERNIC, TYCHO DE BRAHE, KEPLER und GALILEI diese Harmonie gerade durch solch differenzierte Beobachtung entdeckten — freilich nicht nur durch sie.

Erst lange nach dem Ende des großen Altertums treten plötzlich, mit der ersten Wiederaufnahme von messenden Versuchen, zwei ganz neue Momente in der naturwissenschaftlichen Forschung hervor: erstens das Suchen nach Beziehungen zwischen verschiedenen Erscheinungen, um sie auf eine Ursache zurückzuführen und zweitens: das, was man bis heute als Gedankenexperiment bezeichnet.

Beides geschah vornehmlich, wenn auch nicht ausschließlich, zuerst auf dem Gebiet der Mechanik. LEONARDO DA VINCI ist un-

zweifelhaft der Pionier. ARCHIMEDES kannte die Gesetze des Gleichgewichts von Kräften, die an festen Körpern angreifen, aber der Begriff der Arbeit war ihm fremd. LEONARDO erkannte, daß es auf eine Größe ankommt, die sich aus Kraft und Weg ergibt, welcher in der Krafrichtung zurückgelegt wird, auf die Arbeit, welche von der statischen Kraft verschieden ist. STEVIN gelingt dann die Überführung des statischen Gleichgewichtes in die allgemeine Betrachtung der Arbeit durch das wichtige Prinzip der kleinsten Verückungen. Seinen Arbeiten liegt das erste bewußt gedachte Gedankenexperiment zugrunde: Die Frage, ob eine geschlossene Kette sich bewegen kann, welche über eine schiefe Ebene gelegt ist? Wenn sie ins Gleiten käme, so würde sich ihre Anordnung auf der schiefen Ebene nicht ändern, also auch die Verteilung der an ihr angreifenden Kräfte nicht, die Bewegung würde also aus der Kette selbst heraus, nicht durch äußere Kraft erfolgen. Hiermit kam er zur Unmöglichkeit des Perpetuum mobile und 100 Jahre später NEWTON zu dem Prinzip „actio gleich reactio“.

LEONARDO hat die Fallbewegung als eine beschleunigte Bewegung gesehen, kam aber zu keiner Erkenntnis. GALILEI erkannte, daß die Untersuchung der Bewegung, ihres Ablaufes und der Zusammenhang mit der die Bewegung erzeugenden Kraft die zuerst zu lösende Frage der Naturforschung war. Sie gelang ihm durch Messung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit, statt vom zurückgelegten Weg, wodurch er als einzig bestimmende Größe die Beschleunigung erkannte, die ein Körper unter dem Einfluß der Kraft erfährt. Und nun kommt er durch sein berühmtestes Gedankenexperiment zu dem wegen der Reibung nie ganz genau experimentell zu beweisenden Satz, daß alle Körper gleich schnell fallen. Das Gegenteil hiervon war die Grundlage der Naturphilosophie des ARISTOTELES oder sagen wir vorsichtiger: der Naturphilosophie, die sich auf ARISTOTELES berief; denn sicher wissen wir nur, wie sich das System des ARISTOTELES auswirkte.

GALILEI schließt: Ein schwerer Körper falle schneller als ein leichter (wie ARISTOTELES behauptet). Wenn man beide miteinander verbindet, so muß der schwere den leichten beschleunigen, während der leichte die Bewegung des schweren hemmen würde; es müßte also eine mittlere Fallbeschleunigung sich ergeben. Andererseits sind aber die beiden Körper verbunden schwerer als jeder allein, so daß sie zusammengebunden schneller als jeder einzeln fallen müßten. Beide Folgerungen stehen im Widerspruch, folglich muß

die Annahme falsch sein. Richtig muß sein, daß alle Körper unabhängig von ihrer Masse gleich schnell fallen.

Aber wie er auch sich bemühte, den Satz durch Fallversuche vom schiefen Turm zu Pisa zu beweisen — immer ergaben sich kleine Abweichungen; und seine Gegner behaupteten, daß diese die Hauptsache seien. Da zieht GALILEI eine scheinbar völlig anders geartete Erscheinung heran: die Pendelschwingung. Er hatte sie als eine beschleunigte Bewegung, folglich als Fall auf einem Kreisbogen erkannt und zeigte, daß Pendel gleicher Länge unabhängig von Masse, Schwingungsweite und Dauer der Beobachtung die gleiche Schwingungsdauer haben, also die gleiche Beschleunigung erfahren; durch die Reibung wird allein die Schwingungsweite, nicht die Zeit kleiner. Je genauer aber die Beobachtung wurde, desto mehr zeigten sich wieder ganz kleine Abweichungen, und es wurde ihm klar, daß das Gesetz der gleichen Fallbeschleunigung sich deshalb nicht streng bestätigen ließ, weil man niemals die Bedingungen schaffen kann, welche es voraussetzt: nämlich die dauernde Wirkung einer konstanten Kraft. Mit anderen Worten: GALILEI erkannte, daß es Ursachen gibt, welche den einfachen gesetzmäßigen Ablauf ändern, und daß das einfache Naturgesetz überhaupt nicht durch Messung erhalten werden kann. Das Problem war also, eine Hypothese aufzustellen, aus der widerspruchsfrei die Versuchsergebnisse folgten.

Diese Hypothese bezeichnen wir heute als das GALILEISCHE Trägheitsgesetz. Man hatte damals die richtige Vorstellung, daß ein Körper nur durch eine Kraft — denken wir einmal an einen Stoß mit dem Fuß — in Bewegung gesetzt werden kann, glaubte aber fälschlicherweise, daß diese Bewegung von selbst allmählich wieder zur Ruhe komme, wie etwa das Leuchten einer Taschenlampe, wenn die Batterie entladen ist. Hieraus hatte man gefolgert, daß eine Bewegung nur durch immer erneute Kraftzufuhr erhalten bleiben kann. GALILEI schloß aber richtig: Wenn ein ruhender Körper durch eine Kraft in Bewegung gesetzt, also beschleunigt wird, so muß das erneute Wirken dieser Kraft auch wieder eine Beschleunigung geben. Wenn also dauernd eine konstante Kraft wirkt, so wird der Körper dauernd im gleichen Maße beschleunigt, die Geschwindigkeit nimmt in jeder späteren Sekunde genau so viel zu wie in der ersten. Und schließlich: Ob ich nun einen Körper in Bewegung setzen oder ihn anhalten will — beides ist eine Bewegungsänderung, immer brauche ich

dazu eine Kraft. Ohne Gegenkraft würde er nicht zur Ruhe kommen; die Reibung ist eine solche Gegenkraft. Jede Bewegungsänderung beruht auf einer Kraft, jede Kraft bewirkt eine Bewegungsänderung.

Das war um 1600. Etwa 100 Jahre später brachte NEWTON das Werk, das von LEONARDO und STEVIN begonnen, von GALILEI erkannt, von KEPLER erforscht, von HUYGENS weitergeführt war, in seiner *Philosophiae naturalis principia mathematica* zur glanzvollen Vollendung. Wir können nur zwei Punkte aus der Fülle der Erkenntnis herausgreifen.

Das erste ist die endgültige Formulierung des GALILEISCHEN Trägheitsgesetzes in zwei Gesetzen: Das Gesetz der Beharrung der Bewegung und das Gesetz der Kraft durch Einführung einer Definition der Masse: Die Masse eines Körpers ist das Maß der Trägheit, welche ein Körper einer Beschleunigung entgegensetzt. Die Kraft ist also das Produkt von Masse und Beschleunigung, welche die Masse durch die Kraft erfährt. Der Fall rührt von einer Kraft her, welche die Erde auf die Masse der Körper ausübt und die durch das Gewicht des Körpers gemessen wird. Kann diese Schwerkraft, diese Erdanziehung sich im freien Fall auswirken, so macht der Körper eine beschleunigte Fallbewegung. Die Proportionalität von Masse und Gewicht, oder die Gleichheit der trägen und der schweren Masse folgen also aus der Erfahrung.

Das zweite ist die, für unsere Betrachtung besonders wichtige Verallgemeinerung des an der Bewegung irdischer Körper studierten Vorganges auf alle Massen der Welt: Die Massenanziehung, die Gravitation, die allerdings erst sehr viel später im Laboratoriumsversuch bewiesen wurde. Die Erde zieht den Mond an und er fällt in der Tat dauernd beschleunigt auf die Erde zu. Daß er sie nicht erreicht, ja sich nicht einmal ihr nähert, kommt daher, daß er eine Geschwindigkeit hat senkrecht zur Verbindungslinie mit der Erde, die (GALILEIS Trägheitsgesetz!) durch die zu seiner Bewegungsrichtung senkrecht wirkende Erdanziehung nicht verändert werden kann. Würde er nicht fallen unter der Anziehungskraft der Erde, so würde er gleich einer Sternschnuppe die Erde verlassen; weil er fällt, muß er eine Kreisbahn um die Erde beschreiben.

Jetzt folgen auch aus Beharrungs- und Gravitationsgesetz als Konsequenzen die drei berühmten, von KEPLER aus den Planetenbewegungen erschlossenen Gesetze und beweisen rückwärts das Gravitationsgesetz.

Was ist diese Gravitation? — diese Frage ist bis heute noch nicht beantwortet; für den Physiker, den Astronomen tritt sie in Erscheinung als Beschleunigung, welche eine Masse durch die Wirkung einer anderen erfährt. Wie wirkt diese Kraft? — auch dies ist unbeantwortet. Man kann das philosophisch bedauerlich finden. Wir sagen: Nicht Spekulationen über die Natur der Kraft führen zu neuer Erkenntnis; sie ist ein Problem der Zukunft, weil sämtliche Forderungen aus den GALILEISCHEN und NEWTONSCHEN Gesetzen befriedigt sind, weil sie sich bei neuer Forschung bewährten.

Die unsterbliche Leistung der drei Größten — GALILEI, KEPLER, NEWTON — ist die Begründung der Physik der Materie mit naturgegebener Begriffsbildung.

Die Intuition des Forschers, von der so viel geredet wird, scheint nichts anderes zu sein als die beim Studium der Natur erlangte Fähigkeit zur richtigen Fragestellung. Es scheint selbstverständlich, bei einer neuen Erscheinung, bei einem neuen Vorgang die Frage „warum“ zu stellen; und es wird keinen Forscher geben, der nicht sein ganzes Leben einem „Warum“ nachgeht. Aber in dieser Allgemeinheit ist die Frage meist sinnlos. Dazu zwei verschiedenartige Beispiele mit falscher Fragestellung, eines aus alter, und eines aus neuer Zeit.

CARTESIUS kritisierte GALILEIS Behandlung der Fallgesetze, die „ohne Grundlage aufgebaut“ seien; „denn er hätte zuvor bestimmen müssen, was die Schwere sei“. LENARD, welcher diesen Satz aus einem Briefe von DESCARTES zitiert, bemerkt hierzu: So denken, heißt das Pferd der Naturforschung von hinten aufzäumen. Das ist in der Tat ein klassisches Beispiel des Unverständnisses für das Wesen der exakt-naturwissenschaftlichen Forschung. Das ist nicht Forschung, wenn man gleich nach den letzten Gründen fragt. Was ist Schwere, was ist Gravitation, was ist elektrische und magnetische Kraft — das sind bis heute keine produktiven Fragen, weil sie keinen Weg zu ihrer Beantwortung enthalten; und doch wird kein Mensch leugnen, daß wir über ihre Gesetze wohl unterrichtet sind. Die physikalische Fragestellung lautet etwa: Wann entsteht eine magnetische Kraft, wie ist ihre räumliche Verteilung, von was hängt ihre Stärke ab, ist sie immer da — nur quantitativ verschieden — oder tritt sie nur unter bestimmten Bedingungen auf und unter welchen? Die Beantwortung dieser Fragen wird zu Modellvorstellungen führen, zu mathematischen Formulierungen der Wirkung, welche beide wieder neue Kombinationen mit anderen

Naturerscheinungen, Forschungsexperimente bringen und so uns allmählich ein immer differenzierteres Bild der magnetischen Kraft liefern. Sollte man aber zuvor — ehe man mit ihr arbeitet — bestimmen müssen, was magnetische Kraft ist, um aus ihr selbst ihr Wesen zu erkennen, so wäre eine experimentelle Erkenntnis-methode gerade bei den allergrundlegendsten Fragen der Natur unmöglich.

Das zweite Beispiel aus neuer Zeit liefert die Erforschung der Radioaktivität. Die Forschung begann mit der Sicherstellung von Tatsachen: Daß gewisse Stoffe elektrisch-korpuskulare Strahlungen aussenden, deren Natur experimentell ermittelbar war, d. h. die sich als identisch mit den bereits bekannten Helium-Ionen und Kathodenstrahlen erwiesen und sich nur hinsichtlich ihrer größeren kinetischen Energie von ihnen unterschieden. Es war wahrscheinlich, daß diese Korpuskeln Teile von Atomen sind, welche zerfallen. Die Analyse des zeitlichen Ablaufs dieses Zerfalls der sogenannten radioaktiven Atome zeigte ein höchst einfaches Wahrscheinlichkeits-gesetz, woraus in Übereinstimmung mit dazu angestellten Experimenten folgte, daß der Grund für den Zerfall der Atome nicht in äußeren Kräften zu suchen ist, sondern im Innern der Atome selbst liegen müsse. Man sollte meinen, daß die nächstliegende Frage war: Welches ist dieser Grund? Warum zerfallen diese Atome, andere nicht? Selbst heute ist diese Frage nicht beantwortet, die Forschung hätte also, dieser Frage zugewandt, stagniert. Aber sie wurde gerade wegen ihrer Unfruchtbarkeit damals gar nicht gestellt. Man ging vielmehr daran, die Zerfallsprodukte zu analysieren, sie in das periodische System einzuordnen, den Zusammenhang zwischen Art des Zerfalls und Atomverwandlung zu klären, man schritt schließlich zu dem Versuch, andere Atome experimentell zu verändern: Und so führte Versuch auf Versuch zu immer tieferer Kenntnis des Atombaus, zu unerwarteten Entdeckungen, weil alle Fragestellungen, Hypothesen und Annahmen dem angepaßt waren, was erfaßbar war. Die große Intuition RUTHERFORDS beruhte nicht im Weitblick, sondern in der Erkennung der kleinsten Schritte, die auch ausführbar waren, nicht in fliegender Phantasie, sondern in diesem Bleiklotz BACONS, der jedes Springen unmöglich macht.

Es kann sich heute nicht darum handeln, an noch mehr Beispielen aufzuzeigen wie alle wirklichen Fortschritte der naturwissenschaftlichen Erkenntnis grundsätzlich auf die gleiche Weise,

dieses Wechselspiel zwischen Deduktion und Induktion mit der besonderen Bedeutung des messenden und des forschenden Experiments gewonnen wurden. Wir wollen lieber noch eine beachtenswerte Tatsache aus dem Anfang der Forschung uns vor Augen führen.

Wir sind gewohnt der naturwissenschaftlichen Forschung, insbesondere der Physik in allen ihren Teilen und der Chemie, auch deshalb eine besondere Stellung einzuräumen, weil sich ihre Ergebnisse in der Technik und somit in unserem Leben, unserer Kultur so unmittelbar manifestieren. Andererseits kennt man Stimmen, welche in der Beschäftigung der Wissenschaft mit solch menschlichen Tagesfragen eine ihres hohen Sinnes nicht würdige Tätigkeit sehen, die einer gänzlich anderartigen Denkweise, eben der technisch-erfinderischen zukomme. Der innere Drang nach tieferer Erkenntnis, der Forschungstrieb, das KEPLERSche Sehnen im *Mysterium cosmographicum* und den *Harmonices mundi*, sein Nachspüren der Gedanken Gottes in der Natur, zu der der Mensch als Gottes Ebenbild verpflichtet ist — all dies ist in der Tat weit verschieden von dem auf Verwirklichung eines menschlichen Wunsches, auf Beherrschung der Naturkräfte gerichteten Erfindergeist. Aber daß beide sich nicht ausschließen, daß gerade die Begründer der naturwissenschaftlichen Forschung beides miteinander verbanden, ist auch eine Lehre, die wir aus ihrer Geschichte ziehen wollen. Die statischen Gesetze von Hebel und Schrauben wurden — ohne daß das physikalische Prinzip der Arbeit dabei mit Bewußtsein verwendet wurde — zum Bau von allerlei Maschinen verwendet; halten wohl auch die märchenhaften Erzählungen über diese Erfindung des ARCHIMEDES bei PLUTARCH und PLINIUS einer Kritik nicht stand, so folgt doch aus ihnen die Tatsache solcher Versuche. LEONARDO DA VINCI hat sämtliche von der Natur gewonnenen Erkenntnisse sofort in Erfindungen umgesetzt, sei es der Luftballon oder der Taucheranzug, der Fallschirm oder die Feuerlöschgeräte. STEVIN verwendet die Ergebnisse seiner Untersuchungen über die Hydrostatik, den Druck in Flüssigkeiten und die Theorie des Schwimmens für den Schiffbau, GALILEI zog aus der Erkenntnis, daß festen Körpern eine innere Zugfestigkeit zukommt, welche bei zunehmender Masse durch die Schwerkraft überwunden werden kann, Nutzenwendungen auf den Bau von Brücken und Häusern.

Wir wollen es mit diesen Beispielen aus dem ersten Anfang der Forschung genug sein lassen, aber doch mit einem Worte auch

der Bedeutung KEPLERS für diese Fragen gedenken, wenn freilich auch bei ihm die gedachte Nutzenanwendung der wissenschaftlichen Erkenntnis für das Menschenleben wesentlich anderer Art war. Wir sagten schon, daß KEPLER die Aufgabe der Naturforschung darin sah, in der Welt die Harmonie, die Einheit und Verbundenheit aller Dinge zu suchen, Gott aus der Erkenntnis seines Schöpfungswerkes zu erkennen. In diesem Sinn war er auch Astrolog. Es dürfte, nachdem uns ein Großteil seiner Briefe zugänglich geworden ist, nicht mehr berechtigt sein, daran zu zweifeln, daß er seine Kalender mit voller wissenschaftlicher Überzeugung, nicht um des schnöden Geldes willen verfaßte. Nicht nur, daß eine solche Denkweise bei einem Menschen wie KEPLER unmöglich ist, der sich alle Aussicht auf ungestörte Arbeitsmöglichkeiten durch sein Festhalten an seiner religiösen Überzeugung verdarb, der immer und immer wieder im Bewußtsein des Verlustes seiner Freunde und Gönner jeden Kompromiß ablehnte; wir haben in seinen Briefen die untrüglichen Beweise für seine ernste Auffassung einer wissenschaftlichen Astrologie und auch für den von ihm verfolgten Zweck. Als er mit der größten Verachtung über die spricht, welche ihre Prognostiken für den Fürwitz der Menge, für den Aberglauben dummer Köpfe, aus Ruhmsucht oder Furcht schreiben und er sich verteidigen muß gegen den Vorwurf, daß er als ernster Mann und Philosoph auf diesem von so vielen läppischen und leeren Wahrsagungen besudeltem Gebiet seine Ehre preisgebe, da sagt er, daß er ernste Gründe habe, die ihn auf Schwätzereien und unberechtigten Schimpf nicht achten lassen: „Man muß die Ehre Gottes verherrlichen, indem man sich die Betrachtung der Natur zum Vorsatz nimmt, und sich bestreben, alles das was je einmal dem Menschengeschlecht zu ausgezeichnetem Nutzen erreichen kann, aus der Finsternis der Unwissenheit ans helle Tageslicht rücken.“

Und er schickt seine Aspekte, „diese physikalischen Mutmaßungen“, an Politiker und Philosophen, an Meteorologen, an Ärzte und an Fürsten, nicht zur Befriedigung läppischer Ungeduld oder zur Befreiung von Tagessorgen; sondern er bittet um Vergleich seiner Voraussagen mit den Ergebnissen, immer in der Überzeugung der Menschheit durch eine wissenschaftlich geprüfte, geläuterte Astrologie helfen zu können. So sehen wir den Mann, der die naturwissenschaftliche Forschungsmethode in ihrer strengsten Form begründete und befolgte, in seinem unerhörten Erkenntnis-

drang getrieben von Gottesverehrung und Menschenliebe. Wir wissen, daß sich die Hoffnung KEPLERS bis heute nicht erfüllte und haben auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnisse diese Hoffnung aufgegeben. Aber die beispielhafte Ehrlichkeit KEPLERS in diesen Fragen behält ihre erzieherische Wirkung.

So kommen wir zurück zum Anfang, zum Logos des Johannisevangeliums. Wir sehen, daß es berechtigt ist, eine besondere Denkungsart losgelöst von allem Menschlichen zu betrachten, weil sie uns zu Erkenntnissen über Gesetze der Welt führte, auf die das Forschungssehnen lange vor Beginn seiner Erfüllung gerichtet war. Daß nach jahrhundertelangen Versuchen mit der Methode des reinen Denkens keine Fortschritte erzielt wurden, mit der Entwicklung des exaktnaturwissenschaftlichen Forschungsverfahrens aber unaufhaltsam verschlossene Tiefen der Welt unserem geistigen Auge sich öffneten, rechtfertigt seine besondere Beachtung und Pflege. Ich will durchaus nicht behaupten, daß man mit ihr immer zum Ziele kommen wird; ja, ich bin im Gegenteil tief davon überzeugt, daß es sehr viele Fragen der Welt gibt, die sich mit ihr nicht lösen lassen, und daß ihre Anwendbarkeit um so weniger angebracht sein wird, je mehr der Gegenstand der Erforschung wir selbst, unser inneres Leben, ja überhaupt unser nicht-materielles Sein ist. Um so schärfer müssen wir aber die naturwissenschaftliche Forschung trennen von anderer Betätigung unseres Geistes und ebenso diese letztere freihalten von der Übertragung naturwissenschaftlicher Begriffe, die nicht für sie geschaffen sind. So stolz wir Naturwissenschaftler ein reiches Erbe an Erkenntnissen von 400 Jahren verwalten, pflegen und mehren dürfen, so sehr müssen wir — mit einem Wort von GUSTAV MIE — auch „verstehen, daß die Naturwissenschaft nicht Alles ist.“

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1942

Band/Volume: [37](#)

Autor(en)/Author(s): Gerlach Walther

Artikel/Article: [Die Anfänge naturwissenschaftlicher Forschung 111-127](#)