

Paul Dirac

Dietmar Dath am 23. 06. 2001 in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung

Bei manchen Ehrungen verdunkelt die Laudatio den Anlaß und läßt das beabsichtigte Lob beinahe zum Akt der Undankbarkeit zusammenschnurren. So auch im November 1995 bei der Enthüllung einer Gedenkplatte zu Ehren des Physikers Paul Adrien Maurice Dirac in der Londoner Westminster Abbey – an einem Ort also, wo Großbritannien für gewöhnlich der „Beschützer und Mehrer des Reiches“ gedenkt.

Der schlichte Stein trägt als Inschrift Diracs Namen, die Lebensdaten 1902 bis 1984, den Vermerk „OM“ (Träger des Verdienstordens), die Berufsbezeichnung „Physicist“ und eine aus acht Zeichen bestehende Gleichung, die in der Welt der Physik als „Dirac-Gleichung“ bekannt ist. An Unscheinbarkeit ist diese Gravur kaum zu übertreffen.

Das hat sie mit Diracs Lebensführung gemein: Eine zeitgenössische Zeitungsnotiz nannte ihn „scheu wie eine Gazelle“. Vielleicht wäre angesichts dieser Unscheinbarkeit selbst einigen der bei jener Enthüllung anwesenden Größen aus Wissenschaft und Politik verborgen geblieben, was für eine säkulare Gestalt jener „Physicist“ gewesen ist – wenn nicht Stephen Hawking in seiner Rede resümiert hätte, Dirac habe diese Ehrung nicht nur verdient, sondern es sei überdies „ein Skandal, daß das so lange gedauert hat“.

Liest man Hawkings ebendort geäußerte Ansicht, Dirac sei „der größte theoretische Physiker seit Newton“ gewesen und habe für unser Bild vom Universum „mehr getan als irgendwer sonst in diesem Jahrhundert außer Einstein“, dann überraschen diese geharnischten Worte kaum. Solche Urteile sind im Zusammenhang mit Dirac nicht ungewöhnlich. Will man jedoch einem Laienpublikum begreiflich machen, worin die Bedeutung von Diracs Arbeit für Geschichte und Gegenwart der Physik besteht, stößt man auf ein Hindernis, das der Wissenschaftshistoriker Peter Galison mit den Worten umschrieben hat, Dirac sei „ein Theoretiker für Theoretiker“ gewesen und werde das auch bleiben.

Die Unanschaulichkeit mathematischer Artefakte hat an der Plausibilität dieses Befunds freilich keinen größeren Anteil als das angesichts der jüngsten Ausdehnung der wissenschaftlich-technischen Sphäre in immer umfangreichere Sektoren der Lebenswelt bestürzende Versagen der meisten Intellektuellen, die nötigen Voraussetzungen für eine auch begriffliche wechselseitige Durchdringung von zusehends ineinander verhakten kulturellen Regionen wie etwa „Wissenschaft“ und „Kunst“ zu erarbeiten. Diracs Fall, der anders als derjenige Einsteins keine Handhabe für eine

Reduktion auf ikonische Kürzel („Alles ist relativ“, „Zunge rausstrecken“) bietet, ist ein Prüfstein: Wenn es ihr nicht gelingt, Verständnis für ein solches Intellektuellenleben wachzurufen, dann ist die kulturgeschichtliche Befassung mit der Sorte Naturwissenschaft, die unseren Alltag ebenso prägt wie einige der erhebendsten und abscheulichsten Momente der Moderne, nicht länger auf der Höhe der Zeit.

Es gibt freilich viele falsche Wege, sich hier um Verständnis zu bemühen. Der falscheste wäre wohl der, von Anwendungen der Diracschen Theorie auszugehen und zu beteuern, zahlreiche nützliche Dinge, von modernen Werkstoffen und anderen Produkten der Quantenchemie bis zu Computerbauelementen, verdanken ihre Existenz der Dirac-Gleichung. Denn damit würde gerade geleugnet, was den theoretischen Physiker Dirac auszeichnete: sein Desinteresse an dergleichen zugunsten einer verzehrenden Hingabe an Muster und Schlußketten; sein der Mathesis völlig ergebener Geist, der Ableitungen baute, wie Kleist seine Parataxen und Ergebnisse abzirkelte – wie ein englischer Gartenbaumeister seine Rasenflächen.

Diracs bedeutendste Arbeiten – die Fermi-Dirac-Statistik, die kanonische Transformationstheorie, die relativistische Elektronengleichung samt Entdeckung der Antimaterie und die Arbeit über magnetische Monopole – sind von einem abstrakten, sehr persönlichen und dabei äußerst modernistischen Schönheitsbegriff gespeist, dessen immensen heuristischen Wert Dirac zeitlebens betont hat.

Seine beiden für Lehrbücher überraschend undidaktischen und fordernden Monographien über „The Principles of Quantum Mechanics“ und die allgemeine Relativitätstheorie zeichnen sich ebenso durch Wortkargheit, ja gewollte Prosa-Abstinenz aus wie durch ihre um so reichere Präsentation des mathematischen Gehalts der betreffenden Theorien. Dieser Gehalt war für Dirac der „wirkliche“ Zweck der Physik, dem gegenüber selbst Erfordernisse wie Einfachheit und empirische Verlässlichkeit zurückstehen mußten.

Bezeichnend war in diesem Kontext schon die Reaktion des jungen Dirac auf Heisenbergs epochalen Aufsatz „Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen“ von 1925. Mochten andere über die Erschütterung des Newtonschen Weltbildes durch die dort vorgeschlagene Grundlegung einer „quantentheoretischen Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert ist“, grübeln – Dirac konnte dem wenig abgewinnen. Dann aber fand er etwas, das sein Interesse erregte: Die Heisenbergschen „q-Zahlen“ verhielten sich nichtkommutativ (Kommutativität

ist jene Eigenschaft von klassischen oder c -Zahlen, die bei Addition oder Multiplikation garantiert, daß a plus b dasselbe ist wie b plus a und a mal b dasselbe wie b mal a). Dirac fühlte sich an eine mathematische Struktur erinnert, die man „Poisson-Klammern“ nennt. Er verfolgte die Spur; so entstand sein erster wichtiger wissenschaftlicher Text: „The Fundamental Equations of Quantum Mechanics“.

Damit begann eine Laufbahn, deren Höhepunkt die Entdeckung der Dirac-Gleichung im Frühjahr 1928 war. Diese Gleichung beeindruckte nicht nur als Lösung eines Problems, an dem sich seinerzeit zahlreiche erstklassige Köpfe vergebens abgearbeitet hatten, sondern wurde auch auf einem Weg errungen, der ihr in der Geschichte der Naturerkenntnis einen ausgesprochen merkwürdigen Status zuweist: als reife Frucht reiner Spekulation.

Nachdem Erwin Schrödinger seine berühmte Wellen-Gleichung aufgestellt hatte, deren Wellen-Funktion schließlich von Max Born als etwas gedeutet wurde, dessen Quadrat nicht eine Observable, sondern eine Wahrscheinlichkeit angibt, bemühten sich die besten Physiker der Epoche darum, diese Schrödinger-Gleichung so umzuformulieren, daß sie den Erfordernissen der speziellen Relativitätstheorie gerecht würde. Die meisten Kollegen Diracs rangen um ein einleuchtendes physikalisches Bild, dem gemäß dann adäquate, relativistische mathematische Formulierungen auszuwählen oder zu verwerfen sein sollten. Dirac aber bearbeitete ausschließlich das mathematische „Material“, komponierte es gewissermaßen – in Analogie zur Schönbergschule in der Musik könnte man sagen: Er bildete Zwölftonreihen, wo die anderen nach eingängigen Themata suchten. Und just mittels dieser zutiefst kontraintuitiven Methode fand er endlich eine Gleichung, die nicht nur Quanten- und spezielle Relativitätstheorie (auf ihrem damaligen Stand) vereinigte, sondern als unvorhersehbaren Nebeneffekt auch gemessene Eigenschaften des Elektrons reproduzierte. Dirac hatte die korrekte Beschreibung des Verhaltens eines Teilchens gefunden, nach dessen Beschreibung er gar nicht gesucht hatte.

Ein markanteres Ereignis in der Geschichte einer Wissenschaft ist kaum vorstellbar: Die bloße Manipulation der Elemente ihrer Sprache erschloß unerwartete Eigenschaften der gegenständlichen Welt, auf die sie sich bezieht. Mit diesem Erfolg nicht genug, war es nun ausgerechnet der einzige augenfällige Makel von Diracs Theorie, der den Weg zu einem weiteren prognostischen Großereignis wies. Denn die Dirac-Gleichung hatte mehr Lösungen, als man zu brauchen glaubte: Neben den erwünschten positiven, die das Elektron beschrieben, gab es außer-

dem negative. Eine Weile vermutete man, die überzähligen Lösungen beschrieben das im Atomkern aufgrund experimenteller Beweise vermutete Proton. Diese Annahme erwies sich als unhaltbar. Nach Diracs Theorie konnte ein Teilchen entweder positive oder negative Energie haben. Wieso aber fielen gewöhnliche – positiv energetische – Teilchen nicht in diese negativen Energiezustände und strahlten dabei Energie ab? Diracs Antwort, die sich das von Wolfgang Pauli entdeckte „Ausschlußprinzip“ zunutze machte, lautete: Wenn jeder negative Energiezustand bereits besetzt war, konnte ein Teilchen nicht in einen solchen stürzen.

Das gesamte Universum war demnach vollständig angefüllt mit negativ energetischen Partikeln – der „Dirac Sea“, wie man seither sagt. Dieses Meer aber wies „Löcher“ auf, eben die negativ energetischen Elektronen. Anstatt jedoch diese „Löcher“ weiterhin mit Protonen gleichzusetzen, behauptete Dirac 1931 ebenso schlicht wie kühn, er habe ein neues Teilchen vorhergesagt, jetzt sei es Sache der Experimentalphysik, dessen Existenz nachzuweisen. Knapp vor Jahresende tat man ihm den Gefallen: Der Experimentator Carl Anderson fand das „Antielektron“ und taufte es wenig später auf seinen heute noch gebräuchlichen Namen „Positron“ – der erste Bestandteil der „Antimaterie“ war gefunden worden.

Noch im selben Jahr veröffentlichte Dirac einen weiteren folgenreichen Aufsatz, „Quantised Singularities in the Electromagnetic Field“, in dem er das faszinierende Gedankenspiel eines magnetischen Monopols wagte, von dem unter anderem Entwicklungen in der spekulativen Kosmologie etwa in Gestalt der Theorien von Andrei Linde ihren Ausgang nahmen. Und er setzte damit einen methodengeschichtlichen Meilenstein: Der Aufsatz war die erste Arbeit, die die Errungenschaften der Topologie auf derartige Probleme anwandte. Diese mathematische Theorie der Knoten und Verformungen hat sich als eines der vielversprechendsten Hilfsmittel zum Verständnis der großräumigen Strukturen des Universums entpuppt. Die Arbeit von Leuten wie Roger Penrose und Hawking ist ohne sie nicht zu denken.

Was immer Dirac während der Jahre 1925 bis 1933 auf der Suche nach „pretty mathematics“ anging, schien ihm mühelos zu gelingen. Ihren offiziell sanktionierten Abschluß fand diese von Abraham Pais „heroisch“ genannte Periode mit der Verleihung des Nobelpreises an Dirac (zusammen mit Schrödinger) „für seine Entdeckung neuer fruchtbarer Formen der Atomtheorie und deren Anwendung“.

Dirac hat nie bezweifelt, daß das Wichtigste an seinem Denkweg die

besagte „formalistische“ Methode und der sie nährenden mathematischen Schönheitssinn waren. Aber derselbe Schönheitssinn, den er wohlweislich nie zum System kodifiziert hat – normative Ästhetiken sind nicht nur in der Kunst Gebilde von erschütternd geringer Halbwertszeit –, war es auch, der ihn nach 1936 zunehmend von seinem Arbeitsfeld isolierte. Die neue Theorie der Quantenmechanik, inklusive Dirac-Gleichung, funktionierte näherungsweise ausgezeichnet, erbrachte aber, wenn man sie rigoros ausformulierte, immer wieder störende unendliche Werte für Größen, von denen man längst nachgewiesen hatte, daß sie sehr wohl meßbar waren und artig in endlichen Dimensionen blieben.

Die Krise der Theorie, die sich in den dreißiger Jahren abzeichnete, wurde in den Vierzigern durch das Programm der sogenannten „Renormierung“ überwunden, bei der mit Hilfe mathematischer „Tricks“ die betreffenden Unendlichkeiten „systematisch ignoriert“ werden. Dieses Verfahren, um dessen Entwicklung sich vor allem amerikanische Pioniere der Quantenelektrodynamik wie Richard Feynman und Julian Schwinger verdient machten, lief strenggenommen auf ein Zinken der Karten hinaus: Man wußte, daß es die theoretischen Unendlichkeiten „nicht gab“, und dachte sich im Sinne eines „Shut up and calculate“-Verfahrens daher Wege aus, wie man um sie herumkam.

Das Ergebnis war unbestreitbar nützlich: Masse und Ladung des Elektrons „blieben“ zwar zunächst „unendlich“, aber man konnte jetzt sehr genaue Vorhersagen für Streuungs-, Erschaffungs- und Auslöschungsprozesse treffen. Feynman, der archetypische amerikanische Physiker der Nachkriegszeit, der Dirac nichtsdestotrotz als sein Idol betrachtete, sagte über die neue Theorie, sie sei das „Kronjuwel der Physik“. Es hatte indes einen Nachteil: Sein begrifflicher Apparat war nach den Ansprüchen, die Dirac an „hübsche Mathematik“ stellte, alles andere als ansehnlich; er selbst schrieb 1951: „Neuere Arbeiten von Lamb, Schwinger und Feynman waren sehr erfolgreich..., aber die Theorie, die aus ihnen hervorgeht, ist häßlich und unvollständig.“

Von 1936 an versuchte Dirac deshalb, eine Alternative zu formulieren, mal unter Rückgriff auf Neuformulierungen fundamentaler Ideen, mal auf kaum betretenen Nebenpfaden, immer auf der Suche nach einem korrekten „Hamilton-Operator“, das heißt einem der Mechanik angehörenden mathematischen Konstrukt, das bestimmten Beobachtungsgrößen entsprechen sollte. Noch 1970 fand er eine letzte neue Form seiner berühmtesten Gleichung: eine relativistische Elektronengleichung mit rein positiven Energiewerten. All das verfehlte nicht, prägenden Eindruck auf nachfolgende Physikergenerationen zu machen – ein Umstand, den

man angesichts der geringen Wirkung, die Dirac als Lehrer unmittelbar erzielte, nicht hoch genug einschätzen kann.

Denn anders als der unabsichtliche Antipode seiner späten Jahre, Feynman, der als Autor seiner berühmten „Lectures on Physics“ wohl der begabteste Physikdidaktiker des zwanzigsten Jahrhunderts heißen darf, wirkte Dirac als Vortragender kühl, distanziert, ja abweisend. Bei seinen Vorlesungen wiederholte er auf Nachfragen den zuvor entwickelten Gedanken meist wörtlich. Seine Studenten in Cambridge prägten den Witz, die Wissenschaft habe Wortkargheit an der „Dirac-Einheit“ geiecht: ein Wort pro Jahr.

In welchem Ausmaß Diracs keine Verstöße duldendes Verständnis von mathematischer Schönheit auch immer dazu beigetragen haben mag, ihn in seinen späten Jahren dem Kollegenkreis zu entfremden – daß seine größten Leistungen ohne diese Grundierung nicht möglich gewesen wären, steht fest. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob in dieser „philosophischen“ Grundhaltung eines Mannes, der für Philosophie nie Interesse bekundet hat, nicht ein Schlüsselmotiv der Moderne anklingt, das sich quer durch die Wissenschaften, Künste und philosophischen Debatten verfolgen ließe. Denn so penibel Dirac auch dem Streit um den epistemischen Gehalt der Quantenmechanik auswich und sich von Disputen über Weltanschauungsfragen abgestoßen zeigte („Es gibt keinen Gott, und Dirac ist sein Prophet“, scherzte Pauli), so sehr rührt seine Idee der „hübschen Mathematik“ an das bis heute nicht befriedigend geklärte Problem, warum überhaupt die außermenschlichen Naturvorgänge Entsprechungen in sprachlichen oder mathematischen Strukturen und technischen Lösungen finden. Das semantische Feld, das diese Frage aufspannt, hat auf nahezu jedem kulturellen Kampfplatz dieselben von „Formproblemen“ besessenen Gestalten hervorgebracht: Des einen Dirac ist des anderen Gödel oder Joyce, Mondrian oder Gertrude Stein.

Die gesellschaftliche Vermittlung des Technischen mit dem Schönen – wie die des sozial Wünschbaren mit dem Machbaren – steht im Zeitalter von Nuklearmedizin, Netzkunst und Klonierung noch immer aus. Das nicht allein wissenschaftliche, sondern gesamtkulturelle Ferment, das Menschen wie Dirac zu diesem Prozeß beigetragen haben, nicht geringzuschätzen ist das Wichtigste, was ihr Lebenswerk lehren kann.