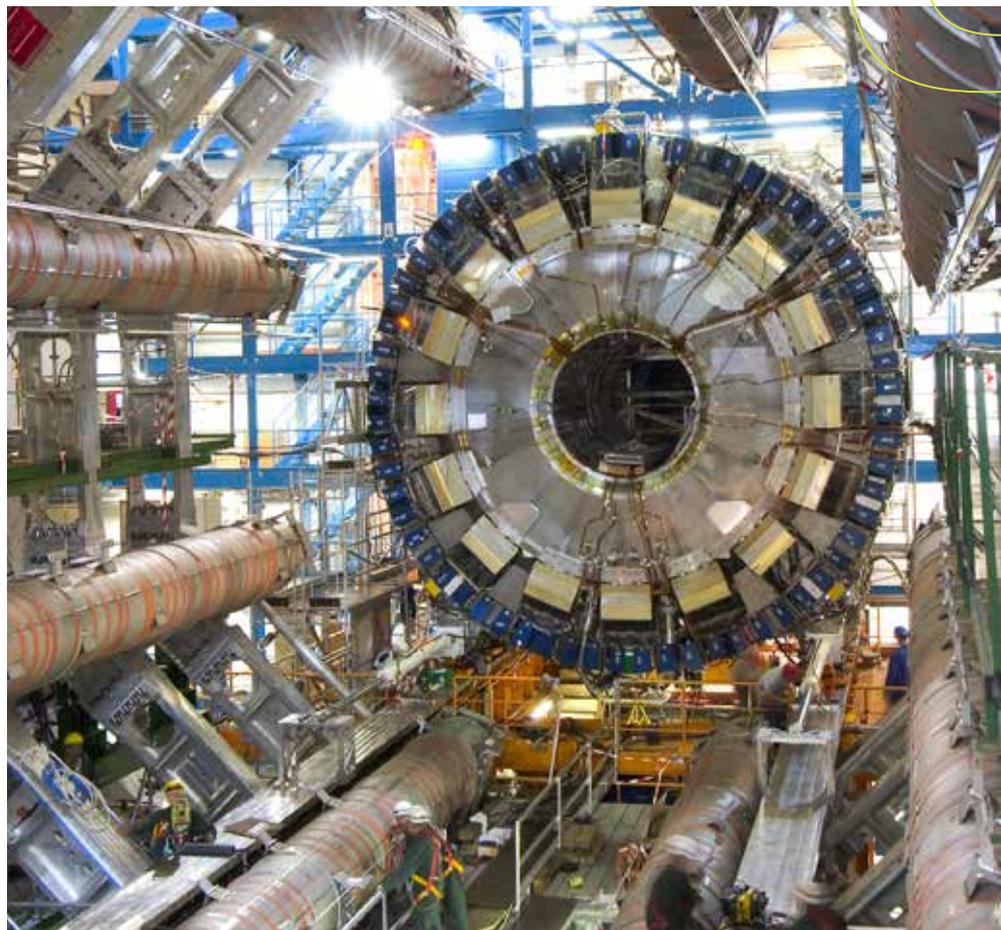


Philosophie der Teilchenphysik

von / by
Prof. Dr. Gregor Schiemann



Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat ab 2016 eine neue Forschergruppe unter Leitung der Bergischen Universität Wuppertal eingerichtet. Sie untersucht die Forschungen an der „größten Forschungsmaschine der Welt“, dem Large Hadron Collider (LHC) am Europäischen Zentrum für Teilchenphysik CERN in Genf, aus philosophischer, historischer und soziologischer Sicht. Wissenschaftsphilosophisch sind diese Forschungen vor allem aus drei Gründen relevant: Die Philosophie interessiert sich für den Ursprung und die grundlegenden Strukturen der Welt, für die Bedingungen des Erkenntniserfolges der Elementarteilchenphysik und nicht zuletzt für die mit den Erfolgen mitunter eng verbundenen theoretischen und praktischen Probleme. Die Diskussion dieser Gründe zeigt die Elementarteilchenphysik als eine lebensweltferne, zugleich aber weltbildrelevante, theoretisch wie praktisch äußerst erfolgreiche Disziplin, die dennoch nicht frei von gewichtigen offenen Fragen ist. Sie könnte ein Typus für die Gewinnung von Wissen an den Grenzen unserer Erkenntnis sein.



In 2016 the German Research Foundation set up a new research unit, led by the University of Wuppertal, which was tasked with investigating the philosophical, historical and sociological implications of activities at the world's largest research machine, the Large Hadron Collider (LHC), at the European Organization for Nuclear Research (CERN) in Geneva. From the point of view of the philosophy of science there are three main reasons why these activities are relevant: the philosophy of science deals with the origins and fundamental structures of the world, with the conditions for the success of parti-

cle physics in generating new knowledge, and last but not least with the theoretical and practical problems associated with that success. Discussion of all these issues shows on the one hand the remoteness of particle physics from the world in which we live, on the other hand its relevance for our conception of the world. Despite its striking successes in theory and in practice, this field of physics nevertheless raises open questions of considerable magnitude. It may well be a model for the production of knowledge within the limits of what we know.

Seit 2010 besteht an der Bergischen Universität eine von der DFG, der Volkswagenstiftung und der Bergischen Universität geförderte interdisziplinäre Zusammenarbeit von Elementarteilchenphysik, Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftsphilosophie. 2016 wurde von der DFG und dem österreichischen Wissenschaftsfonds FWF eine Forschergruppe mit sechs Projekten bewilligt, an der sich auch die Wissenschaftssoziologie beteiligt. Das gesamte Fördervolumen beträgt 2,5 Millionen Euro für die nächsten drei Jahre. Sprecheruniversität ist die Bergische Universität, an der drei Projektleiter tätig sind (alle Mitglieder des Interdisziplinären Zentrums für Wissenschafts- und Technikforschung – IZWT) und eine Juniorprofessur für die Philosophie der Physik, die gerade besetzt wird. Die anderen Projektleiterinnen und -leiter sind an der RWTH Aachen, der TU Berlin, der University of South Carolina (USA), dem Karlsruher Institut für Technologie, dem California Institute of Technology (Pasadena, USA) und der Universität Klagenfurt in Wien (Österreich) angesiedelt. Es handelt sich um die einzige DFG-Forschergruppe in der die Physik und die Geisteswissenschaften zusammenarbeiten.

Thema der interdisziplinären Zusammenarbeit war und ist die „Epistemologie des Large Hadron Collider“. Der als Large Hadron Collider (LHC) bezeichnete Teilchenbeschleuniger am Europäischen Kernforschungszentrum CERN bei Genf stellt das in verschiedener Hinsicht größte wissenschaftliche Messinstrument dar, das jemals gebaut wurde. Indem auf hohe Energien beschleunigte Teilchen zur Kollision gebracht werden,

sollen die fundamentalen Strukturen der Materie in Bereichen, die 100.000.000-mal kleiner als das Wasserstoffatom sind (ca. 10^{-10} m), untersucht werden. Beim Zusammenprall von bestimmten Teilchen werden für einen kurzen Augenblick Bedingungen erreicht, von denen man annimmt, dass sie Billionstel Sekunden nach der Entstehung des Universums vor rund 13,7 Milliarden Jahren geherrscht haben.

Die Frage nach dem Verständnis der Materie

Wissenschaftsphilosophisch sind diese Forschungen groß gesprochen vor allem aus drei, teils gegenläufigen Gründen von Interesse. Erstens ist die Wissenschaftsphilosophie heute derjenige Bereich der Philosophie, der den Fragen nach dem Ursprung und den grundlegenden Strukturen der Welt, mit denen das Philosophieren in Europa überhaupt anfang, noch am nächsten steht. Antworten auf diese Fragen, die für die Orientierung des Menschen in der Welt von ganz allgemeiner Bedeutung sind, können heute nur noch im Rückgriff auf das naturwissenschaftliche Wissen gewonnen werden. Die physikalischen Erkenntnisse über die Materie, aus der die erfahrbare Welt vermutlich ausnahmslos besteht, liegen aber zuerst in mathematischer und unanschaulicher Form vor, die für viele Menschen (andere Naturwissenschaftler inbegriffen) unverständlich sind. Sie postulieren außerdem für die Welt des ganz Kleinen auch Gesetze, die den lebensweltlichen Erfahrungen direkt zuwiderlaufen. Ganz im Gegensatz zur alltags-

Hundert Meter unter der Erdoberfläche und hoch wie ein sechsstöckiges Wohnhaus: Der ATLAS-Detektor am CERN in Genf.

Foto CERN ATLAS Collaboration

praktischen Welt, wo die realen Gegenstände eindeutig räumlich und zeitlich bestimmbar sind, fehlt etwa den Einzelobjekten im subatomaren Bereich die raumzeitliche Eindeutigkeit, wie es der Formalismus der Quantenmechanik zeigt und vielfältige Experimente belegen. Zwischen lebensweltlicher Erfahrung, die sich in der Welt orientieren will, und der Physik, die das dafür auch notwendige Wissen besitzt, besteht ein tiefgreifendes Vermittlungsproblem, zu dessen Lösung die Zusammenarbeit von Wissenschaftsphilosophie und Physik beitragen kann. Dieser Thematik ist zwar kein Projekt der Forschergruppe ausdrücklich gewidmet, aber sie steht doch immer im Hintergrund ihrer Arbeit.

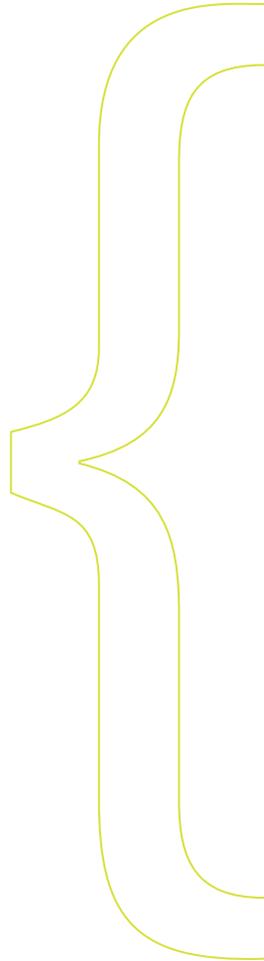
Die Frage nach der Erkenntnis der Elementarteilchenphysik

Zweitens interessiert sich die Wissenschaftsphilosophie für den Erfolg der Elementarteilchenphysik. Die Elementarteilchenphysik verfügt über ein Modell der Fundamente der Materie, das sich in bisher wohl beispielloser Weise bewährt hat. Dieses sogenannte „Standardmodell“ umfasst alle bekannten Elementarteilchen, von denen es erstaunlich wenige gibt, charakterisiert ihre physikalischen (hochgradig symmetrischen) Eigenschaften und gestattet die Berechnung aller experimentell nachgewiesenen und einiger erst nur vorausgesagter Prozesse der Elementarteilchen. Es ist das beeindruckende Resultat der erst Anfang des vergangenen Jahrhunderts intensiviert aufgenommenen Erforschung der Materie, die sich auf die Anwendung von Präzisionstechnologien und hochkomplexen mathematischen Formalismen zu stützen vermochte. Man kann die heute weltbeherrschende Computertechnologie ebenso wie die weltbedrohende Atomtechnologie als Nebenprodukte der Entwicklung der physikalischen Erforschung der Materie betrachten. Der 2012 am CERN gelungene Nachweis des sogenannten Higgs-Teilchens, des noch fehlenden letzten Bausteins des Standardmodells, stellt den Triumph der durch dieses Paradigma geleiteten Forschung dar.

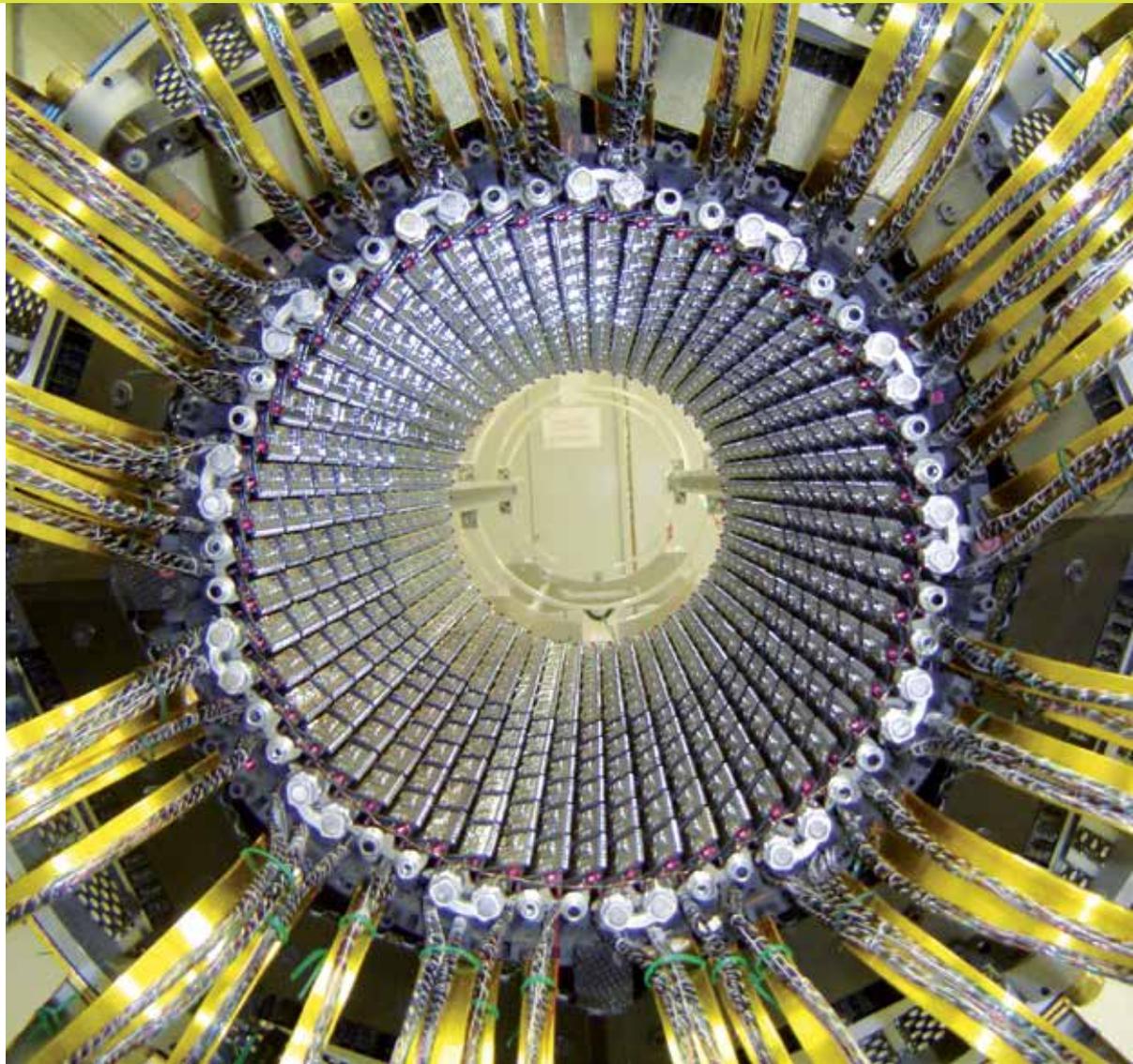
Die Wissenschaftsphilosophie fragt nach den verallgemeinerbaren Bedingungen des Erfolgs der wissenschaftlichen Erkenntnis. Nicht nur in diesem Zusammenhang verbindet sich das wissenschaftsphilosophische Interesse eng mit dem wissenschaftshistorischen und -sozio-

logischen Interesse. Wodurch ist die Dynamik des Erkenntnisprozesses, in dem die Fundamente der Materie entdeckt wurden, in Gang gesetzt worden? Wie lässt sich seine Verlaufsform charakterisieren? Handelt es sich um eine eher kontinuierliche Entwicklung oder wurden neue Erkenntnisse eher an Bruchstellen entwickelt, an denen die Forschung zunächst nicht mehr weitergekommen ist? Kann die Gewinnung des Wissens über die fundamentalen Strukturen der Materie an ein Ende kommen? Könnte es sich vielleicht sogar in absehbarer Zeit herausstellen, dass die Physik wahrscheinlich alles über die im Universum sichtbare Materie herausgefunden hat, was sich mit ihren Mitteln herausfinden lässt? Auf Werner Heisenberg geht die Vorstellung zurück, dass die physikalische Erforschung bestimmter Gegenstandsbereiche (z. B. der elektrodynamischen Objekte) zu einem Abschluss kommt und danach die technische Ausnutzung des Wissens (z. B. durch die Elektrotechnik) folgt. Welchen Charakter hat das Wissen der Elementarteilchenphysik? Existieren die von ihr beschriebenen Teilchen wirklich oder sind es nur theoretische Modellvorstellungen, die lediglich mit experimentellen Messergebnissen verbunden sind, sodass wir kein Wissen von der ganz kleinen Welt haben, wenn wir sie nicht messen? In welcher Hinsicht ist das Wissen über die elementaren Teilchen und deren Wechselwirkungen wahr? Handelt es sich um immer widerlegbare Hypothesen, die zudem auf Dauer auch nicht alternativlos sein müssen? Nicht zuletzt interessiert sich die Wissenschaftsphilosophie auch selbst für die sozialen Prozesse, die mit der Erkenntnisgewinnung einhergehen. An den Experimenten des CERN und ihrer Auswertung arbeiten über 10.000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Publikationen werden teilweise von mehreren tausend Autorinnen und Autoren unterzeichnet. Welche Rolle spielen die Forschungsleistungen einer einzelnen Person in diesem kollektiven Erkenntnisprozess?

Diese Fragen – die Philosophie hat oft mehr Fragen als Antworten – spannen einen thematischen Raum auf, der in unterschiedlicher Weise in alle Projekte der Forschergruppe Eingang gefunden hat. Einige Aspekte sind unmittelbar Gegenstand der Projektarbeit geworden. Ein Projekt ist etwa physikhistorisch ausgerichtet und fragt nach der Entstehung und Entwicklung des Konzepts der sogenannten „virtuellen Teilchen“, d. h. nicht beobachtbarer Teilchen, deren Eigenschaften die Ener-



Der innerste Teil des ATLAS-Experiments, der Pixeldetektor.



gieerhaltung verletzen, im Sprachgebrauch der Physiker aber wie reale Teilchen behandelt werden. In einem wissenschaftssoziologischen Projekt wird nach den praktischen Bedingungen für die Gewinnung von neuem Wissen und die Sicherung seiner Glaubwürdigkeit in den riesigen Verbänden der LHC-Experimente gefragt.

Die Frage nach den Problemen der Elementarteilchenphysik

Drittens interessiert sich die Wissenschaftsphilosophie aber auch für die mitunter mit den Erfolgen eng verbundenen Probleme der Elementarteilchenphysik. Die Physik besitzt zwar das ausgezeichnet bewährte Standardmodell, aber es bestehen dennoch nicht unerheb-

liche theoretische und experimentelle Probleme. Unbefriedigend ist das Standardmodell unter anderem, weil es nicht die Gravitation erfasst und damit eine Grundkraft des Universums unberücksichtigt lässt. Die vom Standardmodell beschriebene Schicht des ganz Kleinen folgt anderen Gesetzmäßigkeiten als die durch die Gravitation bestimmte Schicht des ganz Großen. Aus Sicht der Physik bzw. der Wissenschaftsphilosophie zerfällt die Welt damit gegenwärtig in (mindestens) zwei sich teilweise widersprechende Theorie- bzw. Wirklichkeitsbereiche. Lässt sich die Gravitation vielleicht durch ein noch nicht entdecktes Elementarteilchen erklären und damit doch noch in ein erweitertes Standardmodell integrieren? Es gibt theoretische Modelle, die solche Teilchen voraussagen, von denen aber noch keines bisher experimentell



Der Kontrollraum des ATLAS-Experiments am CERN in Genf.
Foto F. v. Heyden

bestätigt wurde. Ferner wird es als ungenügend angesehen, dass das Standardmodell selbst aus verschiedenen Theorien besteht, die nicht hinreichend vereinheitlicht sind. Im Standardmodell wirken drei Kräfte mit separaten Eigenschaften, obwohl sie auf gleichen Prinzipien aufgebaut sind. Sind sie also nur Facetten einer einzigen Kraft? Ebenso können die Atome, die unser Leben bestimmen, mit nur drei Materieteilchen (ohne Neutrinos) erklärt werden. Das Standardmodell aber kennt zwei Kopien von ihnen – warum dieser scheinbar unnötige Überfluss? Es ließen sich noch weitere, nicht minder gravierende Probleme anführen, mit denen sich die Elementarteilchenphysik konfrontiert sieht.

Zweifellos bedarf die Physik sowenig der Wissenschaftsphilosophie zur Lösung ihrer Probleme wie sie auf die Wissenschaftsphilosophie zur Erzielung ihrer

Erfolge angewiesen war und ist. (Erfolge der Wissenschaftsphilosophie der Physik lassen sich allerdings nicht ohne einen Bezug zur Physik erzielen.) Und doch steigt das wechselseitige Interesse von Physik und Wissenschaftsphilosophie nicht selten gerade bei Gelegenheit ungelöster Probleme. In der Wissenschaftsphilosophie finden sich durchaus verschiedene Ansätze zur Erforschung der physikalischen Erkenntnis, die in besonderer Weise hervortreten, wenn es um die Diskussion ungelöster Probleme der Physik geht. Eine Reihe dieser Ansätze zeichnet sich durch ein dezidiert philosophisches und insofern völlig legitimes Untersuchungsinteresse aus, das auf begriffliche Durchdringung und formale Klärung von Theoriestrukturen abzielt. Während es aber für die Philosophie auf begriffliche Präzision ankommt, können in der Phy-

sik gewisse begriffliche Unschärfen, die abweichende Deutungen zulassen, insbesondere in unübersichtlichen Forschungssituationen von Vorteil sein. Während einige philosophische Richtungen in der Rekonstruktion von physikalischen Theoriestrukturen an der Einhaltung von strengen logischen Folgerungsbeziehungen orientiert sind, gehen in die physikalische Theoriebildung pragmatische Elemente ein, die an dem Ziel der Berechenbarkeit realer Phänomene orientiert sind. Diese disziplinär bedingten differenten Interessen können eine Interdisziplinarität erschweren, wenn nicht sogar unmöglich machen.

Für die an der Bergischen Universität Wuppertal entstandene und jetzt in der Forschergruppe organisierte Zusammenarbeit von Physik und wissenschaftsreflexiven Geisteswissenschaften hat es sich als richtig erwiesen, zunächst von den Problemen auszugehen, wie sie sich aus der Sicht der Physik darstellen, und dann eine gemeinsame Formulierung zu erarbeiten. Als Beispiele, die in zwei Projekten der Forschergruppe bearbeitet werden, möchte ich Aspekte der theoretischen Modellpluralität und des experimentellen Einsatzes von Computersimulationen nennen. Die Pluralität von Modellen tritt in der Wissenschaft meist in Zeiten auf, in denen Theorien nicht hinreichend den epistemischen und ästhetischen Ansprüchen der wissenschaftlichen Erkenntnis genügen oder Phänomene, sogenannte Anomalien, nicht mit den schon bewährten Konzeptionen erklärt werden können. So konkurrieren auch in der Elementarteilchenphysik Modelle um theoretische Konzepte einer Physik jenseits des Standardmodells – „Physics beyond the Standard Modell“ (BSM) ist schon ein terminus technicus – und um Erklärungen von Anomalien. Wissenschaftsphilosophisch interessant sind hierbei unter anderem die Untersuchung der pragmatischen, epistemischen und ästhetischen Kriterien für den Erfolg und den Misserfolg von BSM-Modellen. Zur Computersimulation gibt es heute eine ausgedehnte wissenschaftsphilosophische Literatur, in der allerdings die Teilchenphysik kaum vorkommt. Dabei können ohne den Einsatz von Simulationen am LHC kaum noch Experimente effektiv durchgeführt werden. Mit Simulationen geht ein Vorwissen in die Versuche ein, das als solches nicht mehr in den Resultaten ausgewiesen ist. Wird damit die Möglichkeit der Entdeckung von unbekanntem Phänomenen eingeschränkt?

Die Frage nach der Reichweite der Erkenntnis

Die Diskussion der drei Gründe für das wissenschaftsphilosophische Interesse an der Elementarteilchenphysik zeigt dieses Fach als eine lebensweltferne, zugleich aber weltbildrelevante, theoretisch wie praktisch äußerst erfolgreiche Disziplin, die dennoch nicht frei von gewichtigen offenen Fragen ist. Letzterer Umstand könnte vielleicht damit zu tun haben, dass sich dieses Fach mit seinen Erkenntnisgegenständen mittlerweile auf die Grenzen des Wissbaren zubewegt. Zum einen scheint die Erforschung über die Fundamente der sichtbaren (baryonischen) Materie und die sie vermittelnden Kräfte weit vorangeschritten. Zum anderen hat die Astrophysik der letzten Jahrzehnte mit ihren neuen, geradezu revolutionären Erkenntnissen gezeigt, dass dieses Wissen nur etwa fünf Prozent der Materie- und Energieformen des Universums erfasst. Einigen einflussreichen Hypothesen zufolge bestehen die restlichen 95 Prozent aus Dunkler Materie und Dunkler Energie, für die es bis heute noch keine überzeugenden Erklärungen gibt.

Entwickelt sich die Elementarteilchenphysik in Richtung eines Zustandes, der mit den gängigen wissenschaftsphilosophischen Beschreibungen der Forschung nicht ohne weiteres erfassbar sein könnte? Zu diesen Beschreibungen gehört die bekannte Theorie der Wissenschaftsentwicklung von Thomas S. Kuhn. Würde sich das Standardmodell weiterhin so hervorragend bewähren wie in der Vergangenheit, aber die theoretischen Strukturprobleme und Anomalien keine befriedigende Lösung finden, dann gäbe es eine Form der Normalwissenschaft, die nicht nur, wie bei Kuhn vorgesehen, über ein Paradigma verfügte, sondern ebenso mit Fragen konfrontiert wäre, deren Beantwortung, wenn sie denn möglich wäre, erhebliche begriffliche und langwierige technologische Entwicklungen erfordern würde. Könnte auf Dauer ein stabiles und erfolgreiches Paradigma mit ungelösten Problemen koexistieren? Wäre dies ein Ansatz für den Typus der Entwicklung von Wissen an den Grenzen unserer Erkenntnis?

www.lhc-epistemologie.uni-wuppertal.de