

Perspektiven der Teilchenphysik: Zusammenfassung und Empfehlungen

Komitee für Elementarteilchenphysik

20. Dezember 2010

Empfehlungen

Leitlinien für die Weiterentwicklung der Teilchenphysik

Als Teil eines internationalen Verbundes erforschen die deutschen Teilchenphysiker in führender Position die grundlegenden physikalischen Fragen zur Struktur der Materie, zu den fundamentalen Kräften und der Entwicklung des Universums. Um diese Vorrangstellung zu erhalten, ist die Bewahrung und Weiterentwicklung von vier Kernkompetenzen notwendig: von Beschleuniger- und Detektortechnologien, von Methoden der Informationstechnologie und von theoretischen und mathematischen Methoden. Die Teilchenphysik arbeitet hier in führender Position in der Technologieentwicklung und trägt so wesentlich zur Stärkung des Standortes Deutschland bei.

Die Strategie der deutschen Teilchenphysiker zur Entwicklung des Forschungsfeldes ist eingebettet in die europäische und weltweite Strategie, an deren Formulierung und Umsetzung sich die deutschen Physiker aktiv beteiligen. Auf der Grundlage des heutigen Wissenstandes in der Teilchenphysik, der theoretischen Perspektiven sowie der experimentellen Optionen und vorhandenen Ressourcen geben die deutschen Teilchenphysiker die folgenden Empfehlungen für die zukünftige Entwicklung der Teilchenphysik.

Deutschland hat wissenschaftlich und finanziell erheblich zur Planung und zum Bau des "Large Hadron Colliders" (LHC) und seiner Detektoren beigetragen. Für die nächsten Jahrzehnte wird der LHC weltweit das zentrale Projekt der Teilchenphysik sein und Forschung bei den höchsten erreichbaren Energien ermöglichen. Innerhalb der internationalen Zusammenarbeit wollen die deutschen Teilchenphysiker dieses Forschungsgerät intensiv und führend nutzen. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist auch der Betrieb und die Weiterentwicklung der für die Datenauswertung benötigten Computing-Infrastruktur. Dies umfasst die Bereitstellung der Ressourcen für die deutschen Zentren des Grid-Computings und die Weiterentwicklung der damit verbundenen Software-Infrastruktur.

Empfehlung 1: *Höchste Priorität haben der Betrieb und die Optimierung des Large Hadron Collider und seiner Experimente bis zur nominellen Energie von 14 TeV und der vorgesehenen Luminosität von $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$, sowie die Analyse und physikalische Interpretation der Daten.*

Durch eine Erhöhung der Luminosität über das nominell angestrebte Ziel kann eine Verbesserung

der Präzision der Messungen und eine Vergrößerung des Entdeckungspotenzials des LHC erreicht werden. Hierzu ist auch die Entwicklung neuer Detektortechnologien erforderlich.

Empfehlung 2: *Die für den ab 2020 geplanten Ausbau des LHC und der Detektoren zur Erreichung höchster Luminositäten (High luminosity LHC) erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollen mit hoher Priorität durchgeführt werden.*

Die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, dass ein genaues Verständnis und ein vollständiges Bild der Physik Präzisionsmessungen bei höchsten Energien erfordern, wie sie nur durch einen Lepton-Kollider erreicht werden können. Aus heutiger Perspektive stellt ein Elektron-Positron-Linearkollider mit Energien im TeV-Bereich das nächste internationale Großprojekt der Teilchenphysik bei höchsten Energien dar. Die lange Vorlaufzeit für Entwicklung, Entscheidung und Bau eines solchen Beschleunigers erfordert seine zeitgemäße Vorbereitung. Deutschland und insbesondere DESY und CERN spielen in der Entwicklung eines Elektron-Positron Linearkolliders weltweit eine führende Rolle.

Empfehlung 3: *Parallel zum Betrieb des LHC sollen die Entwicklung und Planung eines Elektron-Positron-Linearkolliders und der entsprechenden Detektoren in enger Abstimmung zwischen CERN und seinen europäischen Partnern und im Rahmen einer weltweiten Zusammenarbeit mit Nachdruck vorangetrieben werden.*

Neben ihrer direkten Vermessung am LHC und einem Elektron-Positron-Linearkollider kann die TeV-Skala auch indirekt durch seltene Prozesse sowie durch hoch präzise Messungen bei kleineren Energien getestet werden. Insbesondere können Fragen zur Struktur des Quark- und Lepton-Sektors, einschließlich der Masse und Mischungswinkel der Neutrinos, an hoch intensiven Beschleunigern bei niedrigen Energien untersucht werden.

Hochpräzisionsexperimente im Bereich der Quark-Flavourphysik mit Kaonen und B-Mesonen ermöglichen indirekte Tests von sehr hohen Skalen. Von besonderem Interesse sind dabei Experimente an einer „Super-Flavour-Fabrik“, zu der es zur Zeit konkrete Planungen in Japan und Italien gibt. Es haben sich bereits zahlreiche deutsche Gruppen dem japanischen Projekt angeschlossen.

Empfehlung 4: *Im Rahmen der weltweit laufenden Planungen für eine „Super-Flavour-Fabrik“ soll die*

Beteiligung deutscher Gruppen unterstützt und ausgebaut werden. Die bereits laufenden Projekte im Bereich der Flavour-Physik sollen weitergeführt werden.

Die Physik mit Neutrinos, die an Beschleunigern erzeugt werden oder aus anderen Quellen wie Kernreaktoren oder der kosmischen Strahlung stammen, sowie weitere Experimente auch ohne Nutzung von Beschleunigern ermöglichen - alternativ zum LHC - die Beantwortung fundamentaler, offener Fragen. Hierzu zählen auch Experimente zum Protonzerfall, zur Leptonzahlverletzung und zur Neutrinomasse, zur Lebensdauer und zu elektrischen und magnetischen Dipolmomenten von Teilchen, wie auch Experimente zur Aufklärung der Natur von dunkler Materie und dunkler Energie. Deutschland hat in einer Reihe dieser Experimente weltweit eine Führungsposition inne.

Empfehlung 5: *Im Rahmen weltweit koordinierter Planungen auf dem Gebiet der Neutrino-Physik sowie von Experimenten zu teilchenphysikalischen Fragestellungen, auch ohne die Nutzung von Beschleunigern, soll deutschen Gruppen auch weiterhin ein wesentlicher Beitrag zu internationalen Projekten ermöglicht werden.*

Für die langfristige Zukunft der Teilchenphysik ist die Entwicklung neuer Technologien für Beschleuniger und Detektoren von grundlegender Bedeutung. Hierzu existieren viel versprechende Ideen, die in längeren Zeiträumen einem weltweit koordinierten Forschungsprogramm zu realistischen Lösungen führen können. Die Untersuchungen der Teilchenphysik in neuen Energie- und Intensitätsbereichen erfordern auch eine Weiterentwicklung von Methoden der Informationsverarbeitung. Wie in der Vergangenheit gezeigt, schafft die Forschung in diesen Hochtechnologie-Feldern Anwendungen in Forschung und Industrie, die weit über die Teilchenphysik hinausgehen.

Empfehlung 6: *Forschung und Entwicklung in Beschleunigertechnologien mit dem Ziel, höchste Energien und höchste Intensitäten zu erreichen, sollen in Deutschland auf hohem Niveau vorangetrieben werden. Weiterhin sollen Forschung und Entwicklung an Technologien zu Detektoren ein wichtiger Bestandteil der Teilchenphysik in Deutschland bleiben. Ebenso soll die Weiterentwicklung der zur Datenanalyse nötigen Informationstechnologie unterstützt werden.*

Neue Erkenntnisse in der Teilchenphysik erfor-

dern einen steten und engen Abgleich experimenteller Ergebnisse mit neuen theoretischen Konzepten und konkreten Berechnungen für beobachtbare Phänomene. Präzise theoretische Vorhersagen im Rahmen des Standardmodells und dessen Erweiterungen definieren die Basis für den Vergleich mit den Daten. Umgekehrt würden in den Experimenten beobachtete Abweichungen vom Standardmodell entscheidende Anhaltspunkte dafür liefern, in welcher Weise die bisherigen theoretischen Modelle modifiziert werden müssen.

Empfehlung 7: *Ein starkes und inhaltlich ausgewogenes Theorieprogramm soll als tragende Säule des Zukunftskonzepts der Teilchenphysik intensiv weitergeführt werden. Dies umfasst sowohl die experimentnahe Phänomenologie als auch neue theoretische Konzepte und Strukturen.*

Die Größe der Projekte der Teilchenphysik erfordert eine langfristige internationale Planung und eine Konzentration der Beschleuniger an speziellen Forschungseinrichtungen, wobei CERN für die Teilchenphysik eine herausragende Rolle spielt. Gerade diese Zentralisierung und Globalisierung erfordern Mechanismen auf nationaler und internationaler Ebene, die es ermöglichen, in einem breiten Konsens der beteiligten Gruppen, die Schwerpunkte zukünftiger Entwicklungen zu definieren.

Mit einer Vielzahl von speziellen Expertisen an Universitäten, den Großforschungszentren DESY, dem KIT in Karlsruhe und den Max-Planck-Instituten für Physik und Kernphysik trägt die Teilchenphysik in Deutschland wesentlich zum weltweiten Forschungsnetzwerk bei. Der größte Teil der Teilchenphysiker arbeitet an den Universitäten, die die notwendige Infrastruktur zur Verfügung stellen. Für sie ist die Förderung der Verbundforschung durch das Bundesforschungsministerium (BMBF) auf Basis der lokal vorhandenen Ressourcen von ausschlaggebender Bedeutung. Die Förderung durch die DFG spielt insbesondere im Bereich der Theorie eine wesentliche Rolle. Die Finanzierung der Großforschungszentren und der Max-Planck-Institute mit ihren speziellen Einrichtungen und Mitarbeitern vervollständigt das Forschungspotenzial.

Zunehmend erfordert eine stärkere internationale Sichtbarkeit der Teilchenphysik in Deutschland auch eine verstärkte Koordination und Zusammenarbeit der deutschen Institute, wie sie z.B. in den BMBF Forschungsschwerpunkten (FSP) zum Ausdruck kommt. Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Entwicklung einer nationalen Struktur, wie sie innerhalb der Helmholtz-Allianz „Physik an der Teraskala“

aufgebaut wurde. In dieser Struktur spielt DESY eine wichtige Rolle als nationales Labor und Koordinationszentrum für Teilchenphysik, die auch in Zukunft weiter geführt werden soll.

Durch die gezielte und national koordinierte Weiterentwicklung und Stärkung lokaler Expertisen und der notwendigen Infrastruktur können Ressourcen geschaffen werden, die allen Gruppen in Deutschland Gewinn bringend zur Verfügung stehen. Damit kann Effizienz und Ausstrahlung der Teilchenphysik in Deutschland im internationalen Rahmen erhöht und die Verbindung von Grundlagenforschung und Technologieentwicklung intensiviert werden. Dieses Konzept soll weiter entwickelt und gestärkt werden.

Strukturelle Empfehlung: *Die grundlegende Förderstruktur der Teilchenphysik, insbesondere die Verbundforschung, soll beibehalten werden. Durch ergänzende Maßnahmen sollen Infrastruktur und vorhandene Expertisen auf experimentellem wie theoretischem Gebiet national koordiniert und nachhaltig ausgebaut werden. Das CERN spielt national wie international eine zentrale Rolle für die Teilchenphysik; aus diesem Grund ist der deutsche CERN Beitrag von grundlegender Bedeutung. Die Konzepte und Ideen der Helmholtz-Allianz sollen weiter entwickelt und DESY als ein zentrales Labor für die gesamte Teilchenphysik in Deutschland gestärkt werden.*
