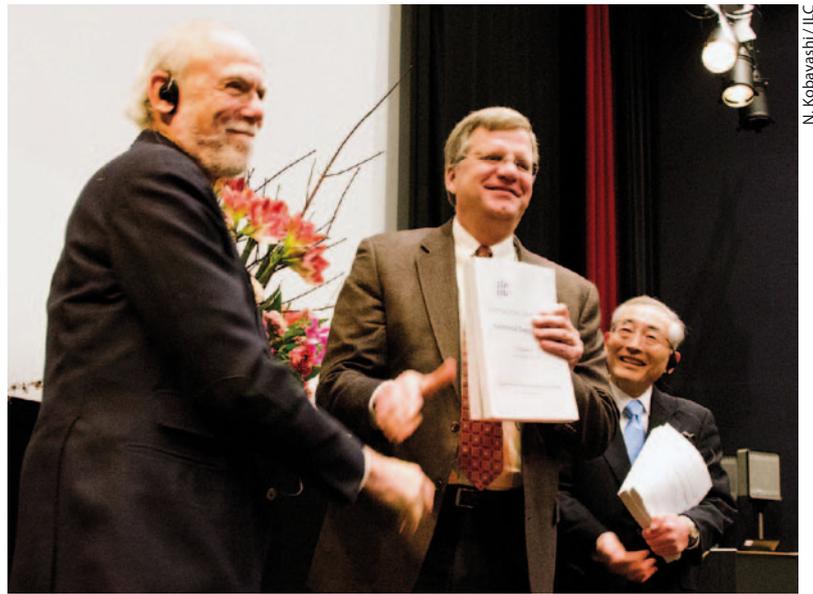


■ Der Bauplan für die Higgs-Fabrik

Der technische Entwurf für den International Linear Collider ist fertiggestellt, ein wichtiger Meilenstein für das ehrgeizige Beschleunigerprojekt.

Noch ist die Entdeckung des Higgs-Teilchens nicht definitiv bestätigt, und der Large Hadron Collider (LHC) am CERN wird diesen Monat für zwei Jahre abgeschaltet, doch schon jetzt denkt die Teilchenphysik-Community viel weiter in die Zukunft. Seit zwanzig Jahren arbeitet sie daran, den nächsten großen Teilchenbeschleuniger auf den Weg zu bringen. Ein wichtiger Meilenstein ist nun die Fertigstellung des „Technical Design Report“ (TDR) des International Linear Collider (ILC).¹⁾ Nach dem Vorentwurf von 2007 waren über fünf Jahre Forschung und Entwicklung nötig, um die technischen Details auszuarbeiten.²⁾

Der ILC soll den LHC nicht ersetzen, sondern komplementär arbeiten. Der LHC erzeugt mit Kollisionen von Protonen oder Blei-Kernen als „Entdeckermaschine“ neue Teilchen. Der ILC ist hingegen als „Präzisionsmaschine“ konzipiert, die mit Kollisionen von Elektronen mit Positronen die Eigenschaften der neuen Teilchen besonders genau vermessen soll. In ringförmigen Beschleunigern lassen sich Elektronen und Positronen nicht auf TeV-Energien bringen, da sie dort Energie durch Synchrotronstrahlung verlieren. Daher besteht der ILC aus zwei Linearbeschleunigern von insgesamt 31 Kilometern Länge, in denen die Elektronen und Positronen auf 250 GeV beschleunigt werden. „In der ersten Ausbaustufe ist der ILC ideal, um das am LHC bei rund 125 GeV entdeckte Higgs-artige Teilchen genauer zu studieren“, sagt Joachim Mnich, Mitglied des DESY-Direktoriums und des International Committee for Future Accelerators (ICFA). Am LHC zeigen sich beim Higgs-Ereignis aufgrund der überlagerten Proton-Proton-Wechselwirkungen zahllose Spuren, welche die Suche nach dem Higgs sehr schwierig machen. „Am LHC wird unter mehr als hundert Millionen Proton-Proton-Kollisionen pro



Barry Barish (links), der die internationalen Anstrengungen für den ILC koordiniert, und ILC-Forschungsdirektor Sakue Yamada (rechts) übergaben am 15. De-

zember 2012 in Tokio den „Technical Design Report“ an Jonathan Bagger, den Vorsitzenden des International Linear Collider Steering Committee (ILCSC).

Sekunde nur ein Higgs pro Minute erzeugt. Die Nadel im Heuhaufen zu suchen, wäre da eine glatte Untertreibung“, betont Mnich. Die Kollisionsenergie liegt beim ILC zwar deutlich niedriger als die bislang 8 TeV beim LHC, reicht aber aus, da die strukturlosen Elektronen und Positronen bei Kollisionen viel weniger Verlustprozesse verursachen. Auf diese Weise dient der ILC gewissermaßen als „Higgs-Fabrik“.

In einer weiteren Ausbaustufe mit 350 GeV könnte der ILC zudem als Quelle für Top-Antitop-Quarkpaare dienen, mit der eine zehnfach genauere Bestimmung der Top-Quark-Masse möglich wäre. Diese ist besonders für supersymmetrische Modelle wichtig. In der maximalen Ausbaustufe mit 500 GeV könnten sich unter anderem Higgs-Selbstkopplungen untersuchen lassen. Prinzipiell ist es durch Verlängerung der Beschleunigungsstrecke denkbar, auch Energien im TeV-Bereich zu erreichen.

Der technische Entwurf für den Linearbeschleuniger ist im Vergleich zum Referenzdesign von 2007 „keine Revolution, aber eine

stetige Evolution“, wie es Joachim Mnich charakterisiert. Neben vielen ausgearbeiteten Details enthält der TDR allerdings auch grundlegende Änderungen und Optimierungen. Diese betreffen zum Beispiel den Teil der Anlage, der die Elektronen- und Positronen-Strahlen im Phasenraum komprimiert, um die Luminosität zu erhöhen, die „Dämpfungsringe“. Sie sollen in der Mitte des ILC-Komplexes angesiedelt sein. Der Umfang der Dämpfungsringe reduziert sich darüber hinaus um die Hälfte auf drei Kilometer, eine Maßnahme, die Kosten sparen soll.

Zur Beschleunigung der Elektronen und Positronen soll beim ILC die im Rahmen der internationalen TESLA-Kollaboration am DESY entwickelte „kalte Technologie“ zum Einsatz kommen.³⁾ Zentrale Bestandteile des ILC werden insgesamt 16 000 supraleitende Beschleunigerstrukturen aus Niob sein, die auf 2 K gekühlt sein müssen. Dank technischer Fortschritte gilt nun als gesichert, dass sich die nötigen Resonatoren für ein Beschleunigungsfeld von 35 Megavolt pro Meter mit ausreichender Zuverläss-

1) www.linearcollider.org

2) Physik Journal, April 2007, S. 8

3) M. Pekeler und P. Schmüser, Supraleitung für Teilchenbeschleuniger, Physik Journal, März 2006, S. 45; Physik Journal, Oktober 2004, S. 6

sigkeit bauen lassen. „Das haben unter anderem Experimente beim Freie-Elektronen-Laser FLASH in Hamburg gezeigt“, sagt Mnich. Auch sei es gelungen, insbesondere am Elektronenspeicherring CESR an der Cornell University, Methoden zu entwickeln, um störende Elektronenwolken zu unterdrücken. Diese würden die Leistungsfähigkeit des ILC gefährden.

Als möglicher Standort für das Milliarden-Projekt hat sich mittlerweile Japan herauskristallisiert. Joachim Mnich hält es dabei für ein positives Signal, dass die Liberaldemokratische Partei, die kürzlich die japanischen Parlamentswahlen gewonnen hat, den ILC sogar in ihrem Programm aufgeführt hat. Doch bevor es zu konkreten Entscheidungen für den ILC kommt, gilt es nun erst einmal, die Gutach-

ten der beiden Kommissionen für die technischen Details bzw. die Kosten abzuwarten, mit denen im Laufe dieses Monats zu rechnen ist. Sie fließen in den endgültigen technischen Entwurf ein, der im Juni erscheinen soll.

Bis dahin ist geplant, die ILC-Organisation neu zu strukturieren, um die Bemühungen des CLIC-Projekts am CERN miteinzubeziehen. CLIC soll als Machbarkeitsstudie zeigen, wie sich ein Linearbeschleuniger mit einem Beschleunigergradienten von 100 Megavolt pro Meter bauen lassen könnte. „Bis das CLIC-Konzept eine solche Reife wie die TESLA-Technologie hat, werden allerdings noch 15 bis 20 Jahre ins Land gehen“, ist Joachim Mnich überzeugt. Mit Ausnahme der Beschleunigungstechnologie gebe es

allerdings viele Fragestellungen, die ILC wie CLIC gleichermaßen betreffen, etwa die Dämpfungsringe oder die Fokussierung der Strahlen für eine möglichst hohe Luminosität.

„Der zeitliche Überlapp von ILC und LHC, der ein wissenschaftliches Programm bis 2030 hat, wird relativ gering sein“, ist sich Joachim Mnich sicher. „Im Idealfall wird die politische Diskussion nur wenige Jahre dauern, bis das ILC-Projekt gesichert ist“, sagt er. Wenn man von einer Bauzeit von mindestens zehn Jahren ausgeht, könnte der ILC in der zweiten Hälfte der 2020er-Jahre seine Arbeit aufnehmen.

Alexander Pawlak

■ Pause für den LHC

In diesem Monat beendet der Large Hadron Collider für eine rund zweijährige Wartungsphase seinen Betrieb. Ab 2015 sollen Protonen dann mit einer höheren Energie aufeinander prallen.

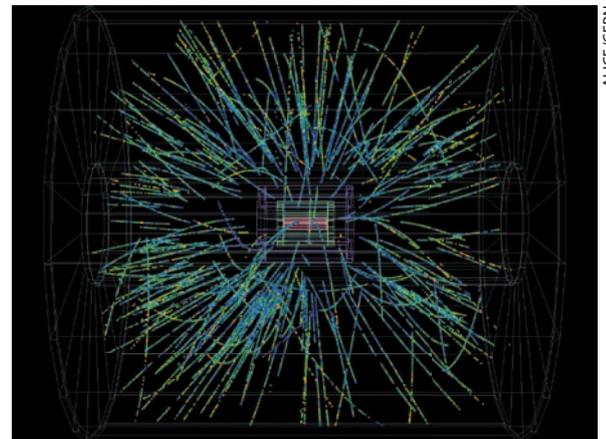
Im vergangenen Jahr überschlugen sich die Meldungen über den Large Hadron Collider^{+) – Höhepunkt war die Pressekonferenz Anfang Juli, in der die Verantwortlichen der ATLAS- und CMS-Kollaborationen die Entdeckung eines neuen, Higgs-artigen Teilchens verkündet haben. Ab März aber werden vorerst keine Teilchen mehr im 27 km langen Beschleunigerring kreisen. In den nächsten zwei Jahren wollen die CERN-Mitarbeiter den Beschleuniger so umbauen, dass Protonen nach dem für Anfang 2015 geplanten Neustart mit einer Kollisionsenergie von 13 TeV aufeinander prallen können.}

Das erfolgreiche Jahr 2012 beendete der LHC mit einem weiteren Meilenstein: Jeder Strahl im LHC besteht aus hunderten von kleinen Paketen, von denen jedes mehr als 100 Milliarden Protonen enthält. Im Dezember gelang es, den Abstand zwischen den Paketen zu halbieren und damit ihre Zahl im Strahl zu verdoppeln. Mitte Dezember wurde ein Rekordwert von 2748

Paketen pro Strahl gemessen. Steve Myers, der als CERN-Direktor für Beschleuniger und Technologie zuständig ist, verkündete stolz: „Der LHC hat in den letzten drei Jahren sämtliche Erwartungen übertroffen und mehr als sechs Millionen Milliarden Kollisionen geliefert und die Luminosität kontinuierlich erhöht. Das ist eine fantastische Leistung, und ich bin unglaublich stolz auf mein Team.“

Die Erwartungen für die nächste Messphase sind hoch: Denn auch wenn bislang die Entdeckung des Higgs-Bosons im Mittelpunkt stand, erhoffen sich die CERN-Wissenschaftler, dass der LHC auch dazu beitragen kann, weitere offene Fragen zu klären, beispielsweise nach der Natur der Dunklen Materie, nach Physik jenseits des Standardmodells oder warum wir aus Materie und nicht Antimaterie bestehen.

Obwohl die vier Detektoren vorerst keine Kollisionen mehr aufzeichnen können, wird es sicherlich auch in Zukunft nicht still um den



Im September 2012 kollidierten in einem Testlauf erstmals Protonen und Blei-Ionen miteinander. Der ALICE-Detektor hat die Spuren der entstehenden Teilchen aufgezeichnet.

LHC werden, denn noch sind genügend Daten auszuwerten. Zudem warten nicht nur Physiker, sondern auch die Weltöffentlichkeit gespannt auf die Bestätigung, dass es sich bei dem neu entdeckten Boson tatsächlich um das Higgs-Teilchen handelt. Schon im März sind genauere Informationen zu erwarten.

Maike Pfalz

+) Physik Journal-Dossier zum Large Hadron Collider: <http://bit.ly/XhHXA7>