

27.03.15 | Physik

## Großes Erwachen bei den Teilchenforschern

Ob der LHC in Genf oder seine Konkurrenten: Die Technologie der größten Maschinen zur Beschleunigung von Partikeln stößt an ihre Grenzen. Neue Konzepte sollen die Teilchenphysik weiter voranbringen.

Von *Brigitte Röthlein*

Kurz vor Weihnachten horchten Insider auf: "Weltrekord für kompakten Teilchenbeschleuniger", meldete das kalifornische Berkeley Lab ([Link: http://www.lbl.gov/](http://www.lbl.gov/)). Auf nur neun Zentimeter Strecke hatten Physiker Elektronen auf eine Energie hochbeschleunigt, für die konventionelle Anlagen, die ihre Teilchen mit Radiowellen anschieben, etwa 100 Meter benötigen.

Das gelang ihnen, indem sie mit einem der stärksten Laser der Welt in einer strohhalmähnlichen Kammer eine Welle aus geladenen Teilchen erzeugten, auf der sie Elektronen reiten ließen.

Bisher war ein Dilemma der Teilchenphysik: Je kleiner die Partikel, die man untersuchte, desto größer und teurer wurden die dazu nötigen Experimentieranlagen. So ist der Large Hadron Collider (LHC) ([Link: http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider](http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider)) in Genf, an dem Wissenschaftler 2012 das Higgs-Teilchen nachwies, ein supraleitender Ringbeschleuniger mit 27 Kilometer Umfang, der allein an Baukosten rund sechs Milliarden Dollar verschlang.

### Beschleuniger lassen sich nicht beliebig verlängern

Dass irgendwann das Ende der Fahnenstange erreicht sein würde, ahnten die meisten Forscher schon lange, dennoch träumen heute noch manche Physiker von Beschleunigern, die 100 Kilometer und länger sein sollen.

Viele andere begannen aber, über Alternativen zu den großen Teilchenschleudern nachzudenken. Hatte man nicht bei der Mikroelektronik gelernt, dass höhere Leistung sogar mit zunehmender Miniaturisierung einhergehen kann? Dass es in erster Linie auf neue, zündende Ideen ankommt, aus denen dann innovative Technologien entspringen?

Eines war schnell klar: Um einfachere und eindeutigere Ergebnisse zu erhalten, sollte man nicht dicke Protonen auf Protonen schießen, wie der LHC das tut. Die relativ schweren Teilchen zerplatzen nämlich beim Zusammenstoß in eine Vielzahl von Bruchstücken. Unter ihnen die relevanten Teilchen zu finden ist extrem aufwendig.

Besser ist es, punktförmige Elektronen und ihre Antiteilchen – Positronen – aufeinanderprallen zu lassen. Da muss man nicht befürchten, dass bei deren Zusammenstoß nach allen Seiten eine Vielzahl von Trümmern wegspritzt, denn die beiden Teilchen vernichten sich jeweils gegenseitig und verwandeln sich vollständig in einen Energieblitz.

Aus diesem entstehen unmittelbar danach zwar ebenfalls wieder neue Teilchen. Da man die Anfangsbedingungen aber ganz genau kennt, ist das Ergebnis viel einfacher zu interpretieren als bei Protonen.

Die zweite Erkenntnis war, dass es für extreme Energien zu aufwendig ist, elektrisch geladene Teilchen in einem Ringbeschleuniger auf Tempo zu bringen. Die Natur erzwingt es, dass sie einen Teil ihrer gerade mühsam gewonnenen Energie wieder als elektromagnetische Strahlung abgeben, wenn sie auf Kurven fliegen.

### Größter Linearbeschleuniger steht in Kalifornien

Man kann dies nutzen, etwa zur Erzeugung von Röntgenstrahlen, aber wenn man einfach nur Teilchen so hoch wie möglich beschleunigen will, stört dieser Energieverlust enorm. Also

ist es besser, die Partikel geradeaus fliegen zu lassen.

Derartige Linearbeschleuniger gibt es schon seit Jahrzehnten, der bisher größte, der Stanford Linear Collider des SLAC, steht in Stanford in Kalifornien. Er ist drei Kilometer lang und kann Elektronen und Positronen auf fast Lichtgeschwindigkeit beschleunigen.

Unter diesen Bedingungen kann man sie nicht mehr schneller machen, aber ihre Energie weiter erhöhen – oder anders ausgedrückt, sie schwerer machen, da Masse und Energie ja äquivalent sind. Dennoch reicht die Elektronenenergie bisher nicht aus für die geplanten Experimente, bei denen es etwa darum geht, weitere Higgs-Teilchen zu finden.

Auch dies zeigt, dass die konventionelle Technologie zur Beschleunigung von Partikeln an ihre Grenzen stößt. Deshalb greifen Forscher nun auf ein Konzept zurück, das bereits vor Jahren vorgeschlagen wurde, bisher aus technischen Gründen aber nicht realisierbar war. Es benutzt ein Plasma, also ein elektrisch geladenes Gas.

Dort sollen Elektronen auf einer Plasmawelle mitschwimmen, die sie wie einen Surfer auf der Kielwelle eines Bootes nach vorne wirft. "Wakefield-Beschleunigung" nennen das die Fachleute, nach der englischen Bezeichnung für die Kielwelle, die jedes Boot hinter sich herzieht.

Das Prinzip: Schießt man in eine mit Gas gefüllte Kammer einen sogenannten Treiber, also entweder einen energiereichen Teilchenstrahl oder einen intensiven Laserblitz, werden Elektronen aus den Gasatomen herauskatapultiert, ein Plasma entsteht.

### **Teilchenbeschleuniger im Miniaturformat**

Zurück bleiben positiv geladene Atomkerne, während die Elektronen hinter dem Treiber eine Kielwelle bilden, in der sich sehr hohe elektrische Felder ausbilden. Diese Plasmawelle wollen die Forscher als Teilchenbeschleuniger im Miniaturformat nutzen.

Derartige Kielwellen lassen sich in einem Plasma durch Protonenstrahlen erzeugen, mit denen man den höchsten Energiegewinn realisieren könnte, aber auf etwas niedrigerem Niveau auch durch Elektronen- oder durch Laserstrahlen.

Am Cern, wo aufgrund der vorhandenen Beschleunigeranlagen ein Protonenstrahl zur Verfügung steht, soll er in einem internationalen Entwicklungsprojekt "Awake" genutzt werden. Die Bezeichnung leitet sich aus "wakefield" ab, steht aber gleichzeitig für "Erwachen". In dem Experiment soll der Protonenstrahl in eine 100 Meter lange Plasmakammer geschossen werden. Zum ersten Mal soll hier ab 2016 gezeigt werden, dass dieses Prinzip funktioniert.

An anderen Forschungsstandorten, wo kein Protonenstrahl zur Verfügung steht, erzeugen Wissenschaftler die Kielwelle im Plasma mit Elektronenstrahlen, etwa am SLAC, wo man bereits erste Erfolge erzielen konnte.

Auch am deutschen Beschleunigerlabor Desy ([Link: http://www.desy.de/](http://www.desy.de/)) in Hamburg beschäftigen sich Forscher mit dieser Option. "Durch die viel größeren Feldstärken, die man in Plasmen erzeugen kann, lassen sich die zur Beschleunigung erforderlichen Strecken von Kilometern auf Meter reduzieren", erläutert Desy-Forscher Jens Osterhoff, der dort eine Projektgruppe leitet. "Die knapp 100 Meter Länge unseres Elektronenbeschleunigers Flash beispielsweise entsprächen einer Plasmazelle im Zentimetermaßstab."

Elektronenstrahlen als Treiber sind vor allem für Anwendungen in der Teilchenphysik interessant, wenn Elektronen möglichst effizient auf extreme Energien beschleunigt werden sollen, um dann mit Positronen zusammenzustoßen. Man könnte das vielleicht mit mehreren hintereinander geschalteten Plasmakammern erreichen. Aber es gibt noch eine andere Forschungsrichtung, die ebenfalls potente Beschleuniger braucht, jedoch mit geringeren Teilchenenergien auskommt: die Diagnostik mit Röntgenlasern.

Deren Strahlung wird durch schnelle Elektronen erzeugt, die man durch Magnetanordnungen fliegen lässt. Sie ist so kurzweilig, dass man mit ihr ins Innere der Materie hineinleuchten kann. Mit einem Röntgenlaser lassen sich beispielsweise Struktur und Wirkungsweise komplizierter Eiweißstoffe ausforschen.

### **Beschleuniger sollen möglichst sogar transportabel sein**

"Vor allem die Pharmakologen sind an dem Werkzeug interessiert. Es gibt ihnen die

Möglichkeit, organische Verbindungen zu durchleuchten und zu untersuchen, wie sie an andere Moleküle andocken. So könnten beispielsweise neue Medikamente entwickelt werden", erläutert Florian Grüner von der Hamburger Universität, der in Kooperation mit Desy das Experiment Laola betreibt.

Es lassen sich sogar mit Röntgenimpulsen von sehr kurzer Dauer wie mit Stroboskoplicht Filme produzieren. Man könnte mit ihnen extrem schnelle chemische und physikalische Reaktionen in ihrem zeitlichen Ablauf verfolgen. Heute sind derartige Röntgenlaser Ungetüme von Hunderten Meter Länge.

Gerade für derartige Zwecke wären aber Beschleuniger wichtig, die kompakt und möglichst sogar transportabel sind. Hier haben Wakefield-Beschleuniger gute Zukunftsaussichten. Bis sie in der Praxis funktionieren, müssen die Beschleunigerphysiker allerdings noch viele grundlegende Erkenntnisse über Prozesse gewinnen, die innerhalb von Femtosekunden stattfinden (das ist der unvorstellbar kurze milliardste Teil einer Millionstelsekunde).

Kein einfaches Unterfangen, aber beispielsweise auf dem Desy-Campus in Hamburg ist die Expertise dafür vorhanden, betont Ralph Aßmann, der dort mit seiner Gruppe neue Beschleunigertechnologien entwickelt: "Wir haben hier Experten, die ultraschnelle Prozesse erforschen, wir haben Spezialisten für Hochleistungslaser, fokussierte Elektronenstrahlen und jahrzehntelange Erfahrung im Beschleunigerbau.

Über Instituts- und Fachgrenzen hinweg bündeln wir diese Kompetenzen, um Plasmabeschleuniger praxistauglich zu machen. Bisläng lassen sich zwar immer neue Beschleunigungsrekorde mit Plasmazellen aufstellen, doch wir können die Prozesse weder genau genug kontrollieren noch steuern, also auch nicht nutzen."

Die Praxistauglichkeit ihrer Anordnung werden auch die Berkeley-Forscher noch zeigen müssen. Sie wollen ihren Rekord noch erhöhen und Elektronen mit zehn GeV erreichen. Dazu müssen sie ihr Plasma jedoch möglichst stabil halten, eine Aufgabe, die noch jahrelange Forschung erfordern wird.