

## **Sicherheit am LHC**

Der *Large Hadron Collider* (LHC) erreicht höhere Energien als jeder Teilchenbeschleuniger zuvor. Die Natur selbst erzeugt jedoch unablässig noch höhere Energien in Kollisionen kosmischer Strahlung. Bedenken um die Sicherheit von Teilchenkollisionen bei so hohen Energien sind seit vielen Jahren Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. Die 'Arbeitsgruppe Sicherheit am LHC' (*LHC Safety Assessment Group, LSAG*) hat den Bericht der *LHC Safety Study Group* aus dem Jahr 2003, einer Gruppe unabhängiger Wissenschaftler, unter Berücksichtigung neuer experimenteller Ergebnisse und vertieften theoretischen Verständnisses auf den neuesten wissenschaftlichen Stand gebracht.

Die LSAG bestätigt und erweitert die Ergebnisse der Studie von 2003: Teilchenkollisionen im LHC stellen keine Gefahr dar und geben keinen Anlass zu Besorgnis. Alles, was am LHC passiert, hat die Natur seit Bestehen der Erde und anderer astronomischer Objekte unzählige Male vorgemacht. Der Wissenschaftsausschuss des CERN – ein Gremium unabhängiger Wissenschaftler, das den CERN-Rat als oberste Beschlussinstanz der Organisation berät – hat den LSAG-Bericht begutachtet und unterstützt seine Schlussfolgerungen mit Nachdruck.

*In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten Argumente der LSAG-Studie zusammengefasst. Für Einzelheiten wird auf den Originalbericht (in englischer Sprache) sowie die dort zitierten wissenschaftlichen Arbeiten verwiesen.*

## **Kosmische Strahlung**

Wie jeder Teilchenbeschleuniger stellt der LHC die Naturerscheinung der kosmischen Strahlung unter kontrollierten Bedingungen im Labor nach, um sie dort im Detail zu untersuchen. Kosmische Strahlen sind Elementarteilchen aus dem Weltall, von denen einige Energien besitzen, die um ein Vielfaches höher sind als die des LHC. Die Energien und Intensitäten, mit der kosmische Strahlen in die Erdatmosphäre eintreten, werden seit 70 Jahren experimentell untersucht. Um die Anzahl der Teilchenkollisionen zu erreichen, die in mehreren Milliarden Jahren durch die Natur allein auf der Erde verursacht wurden, müsste man rund eine Million LHC-Experimente betreiben. Trotz dieser großen Anzahl natürlicher Teilchenkollisionen existiert der Planet Erde noch immer. Astronomen verfolgen darüber hinaus eine große Zahl von größeren Objekten (z.B. Sterne) im Universum, von denen jedes einzelne ebenfalls der kosmischen Strahlen ausgesetzt ist. Im gesamten Universum spielen sich in jeder Sekunde mehr als zehntausend Milliarden Experimente wie am LHC ab, und trotzdem sehen die Astronomen keine gefährlichen Auswirkungen: Sterne und Galaxien existieren noch immer.

## **Mikroskopische Schwarze Löcher**

In der Natur bilden sich Schwarze Löcher, wenn bestimmte Sterne, die viel größer sind als unsere Sonne, am Ende ihres Lebenszyklus in sich zusammenfallen und auf kleinstem Raum riesige Mengen von Materie konzentrieren. Die von einigen spekulativen Theorien postulierten mikroskopischen Schwarzen Löcher entstünden im LHC beim Zusammenstoß zweier Protonen, von denen jedes die Energie einer Mücke im Flug hat. Astronomische Schwarze Löcher sind erheblich schwerer als jedes Objekt, das der LHC erzeugen kann.

Die allgemein anerkannten Prinzipien der Gravitation, die durch Einsteins Relativitätstheorie beschrieben werden, schließen die Erzeugung mikroskopischer Schwarzer Löcher am LHC aus. Andere, spekulative Theorien sagen die Produktion solcher Teilchen am LHC voraus. Alle diese Theorien sagen aber auch voraus, dass sie nach extrem kurzer Zeit wieder zerfallen. Solche Schwarzen Löcher hätten keine Gelegenheit, Materie aufzusaugen und makroskopische Effekte zu verursachen.

Obwohl stabile, mikroskopische Schwarze Löcher von keiner Theorie vorausgesagt werden, sind sie ebenfalls Gegenstand der LSAG-Studie. Wenn stabile Schwarze Löcher durch kosmische Strahlung erzeugt würden, wären sie gleichermaßen ungefährlich. LHC-Kollisionen unterscheiden sich von Wechselwirkungen kosmischer Strahlung mit astronomischen Objekten jedoch dadurch, dass sich neue Teilchen am LHC im Allgemeinen langsamer fortbewegen. Stabile Schwarze Löcher könnten entweder elektrisch geladen oder neutral sein. Wären sie geladen, würden sie mit gewöhnlicher Materie in Wechselwirkung treten und von der Erde gestoppt, unabhängig davon, ob sie aus kosmischer Strahlung kommen oder vom LHC. Die bloße Existenz der Erde schließt diese Möglichkeit für kosmische Strahlung und damit auch für den LHC aus. Stabile mikroskopische Schwarze Löcher ohne elektrische Ladung würden nur sehr schwach mit der Erde wechselwirken. Wenn sie von kosmischer Strahlung erzeugt werden, würden sie die Erde durchqueren und wieder im Weltall verschwinden, ohne Spuren zu hinterlassen. Im Gegensatz dazu könnten am LHC erzeugte Schwarze Löcher auf der Erde verbleiben. Im Universum existieren jedoch erheblich größere und dichtere astronomische Körper als die Erde: in Neutronensternen und Weißen Zwergen würden auch neutrale Schwarze Löcher aus dem Aufschlag kosmischer Strahlung zum Stillstand kommen. Die Tatsache, dass diese massiven Objekte immer noch existieren, schließt deshalb – genau wie die Existenz der Erde – die Erzeugung gefährlicher Schwarzer Löcher am LHC aus.

### **Strangelets**

*Strangelets* sind hypothetische, mikroskopisch kleine Klumpen so genannter seltsamer Materie. Sie bestehen zu annähernd gleichen Teilen aus *up*-, *down*- und *strange*-Quarks. Den meisten Theorien zufolge sollten *Strangelets* sich innerhalb einer Milliardstel Sekunde in gewöhnliche Materie umwandeln. Können *Strangelets* stattdessen mit gewöhnlicher Materie verschmelzen und sie dabei in seltsame Materie umwandeln? Diese Frage wurde erstmals bei Inbetriebnahme des *Relativistic Heavy Ion Collider* (RHIC) in den USA im Jahr 2000 aufgeworfen. Schon damals fand eine Studie keinen Grund zur Besorgnis. RHIC ist inzwischen seit acht Jahren in Betrieb und hat nach *Strangelets* gesucht, ohne bisher ein einziges zu finden. Der LHC wird zeitweise, ähnlich wie RHIC, mit Strahlen aus schweren Atomkernen betrieben. Zwar kollidieren die LHC-Strahlen mit höherer Energie als in RHIC, jedoch wird dadurch die Erzeugung von *Strangelets* noch unwahrscheinlicher. In den extremen Temperaturen dieser Kollisionen kann sich seltsame Materie nur schwer zusammenballen – ähnlich wie sich in heißem Wasser kein Eis bildet. Darüber hinaus verteilen sich Quarks in LHC-Kollisionen über ein größeres Volumen als bei RHIC, was die Bildung seltsamer Materie weiter erschwert. Deshalb sind *Strangelets* am LHC noch weniger wahrscheinlich als bei RHIC; und schon dessen Messungen bestätigen Theorien, die eine Erzeugung von *strangelets* ausschließen.

### **Vakuumbblasen**

Es gibt Spekulationen, dass unser Universum sich nicht in seinem stabilsten möglichen Zustand befindet, und dass vom LHC verursachte Störungen es in einen stabileren Zustand überführen könnten, der als 'Vakuumbubble' bezeichnet wird und in dem wir selbst nicht existieren könnten. Auch hier gilt, dass kosmische Strahlung den gleichen Effekt hervorrufen würde. Da solche 'Vakuumbubbles' im sichtbaren Universum nie beobachtet worden sind, können sie auch am LHC nicht auftreten.

### **Magnetische Monopole**

Magnetische Monopole sind hypothetische Teilchen mit einer einzigen magnetischen Ladung, also entweder einem Nordpol oder einem Südpol. Einige spekulative Theorien unterstellen, dass Monopole – wenn es sie gäbe – den Zerfall von Protonen katalysieren könnten. Die gleichen Theorien sagen aber auch voraus, dass solche Monopole zu schwer sind, um am LHC erzeugt zu werden. Wenn magnetische Monopole trotzdem leicht genug wären, um am LHC aufzutreten, würden sie schon seit langer Zeit von kosmischer Strahlung in der Erdatmosphäre erzeugt, und die Erde würde sie auf effiziente Weise stoppen und einfangen. Auch hier gilt deshalb, dass die andauernde Existenz der Erde und anderer astronomischer Objekte gefährliche, Protonen zerstörende magnetische Monopole ausschließt, die leicht genug sind, um am LHC erzeugt zu werden.