



10.09.2008

<http://abenteuerwissen.zdf.de/ZDFde/inhalt/14/0,1872,7247310,00.html>


ZDF

Abenteuer Wissen

## Schwarze Löcher im Labor?

Im ALICE-Detektor soll dem Urknall nachgespürt werden.

### Kontroverse um mögliche Gefahr durch Experimente am LHC

von *Stefan Lehmacher*

Am 10. September nimmt am europäischen Kernforschungszentrum CERN in der Schweiz die größte und komplizierteste Maschine ihre Arbeit auf, die die Menschheit je gebaut hat. Der "Large Hadron Collider" (LHC) soll Protonen und Pakete von Bleiionen mit 99,9999991 Prozent der Lichtgeschwindigkeit aufeinanderschießen. Aus den dabei entstehenden Trümmern, Teilchen und Energiereaktionen erhoffen sich Physiker Aufschluss über den Anfang und die Struktur unseres Universums. Allerdings, so wenden Kritiker ein, könnten dabei auch mikroskopisch kleine Schwarze Löcher entstehen, die, so fürchten sie, die ganze Erde bedrohen könnten.

Für die Teilchenphysiker und theoretischen Physiker der ganzen Welt ist der 27 Kilometer umfassende LHC-Ring hingegen ein Hoffnungsträger. Zum ersten Mal steht ihnen ein Teilchenbeschleuniger zur Verfügung, der stark genug ist, entscheidende Fragen über unser Universum zu beantworten. Vor allem erhoffen sich die Wissenschaftler den Nachweis des so genannten Higgs-Bosons, des letzten Teilchens, das das Standardmodell der Elementarteilchenphysik vorhergesagt hat. Das Higgs-Boson soll allen bekannten Teilchen im Universum über Wechselwirkung ihre Masse vermitteln. Anders kann man sich bis heute nicht erklären, wieso Elektronen, aber auch die Quarks, aus denen ein Proton aufgebaut ist, die Masse haben, die wir beobachten.



isotype

## CERN: Der Teilchenbeschleuniger "LHC"

### Die Struktur des Universums

Darüber hinaus hoffen die Wissenschaftler bei den Kollisionen im LHC einen regelrechten Teilchenzoo entstehen zu sehen. Dies wäre ein Beweis für die angenommene Supersymmetrie, der Symmetrie zwischen Materieteilchen wie Protonen und Neutronen und den Wechselwirkungsteilchen wie Photonen und Gluonen, die Kräfte vermitteln. Damit wäre die theoretische Physik einer Vereinheitlichung von drei der vier fundamentalen Kräfte der Natur (elektromagnetische Kraft, starke Wechselwirkung und schwache Wechselwirkung) ein entscheidendes Stück näher gekommen. Auch auf der Suche nach der so genannten Dunklen Materie, die 70 Prozent aller Materie im Universum ausmachen soll, brächte dies die Wissenschaft voran. Dann nämlich müsste bei den Kollisionen ein so genanntes Neutralino, das leichteste Teilchen der Dunklen Materie, entstehen.

#### Live-Webcast vom CERN in Genf

Das ZDF ist für den Inhalt externer Internetseiten nicht verantwortlich.

#### INFOBOX

##### CERN

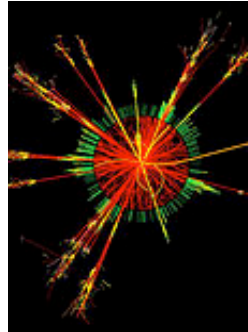
Rund 2500 ständige Mitarbeiter hat das 1954 gegründete "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire" (CERN) im schweizerischen Genf. Hinzu kommen noch einmal rund 8000 Gastwissenschaftler - die Hälfte aller Teilchenphysiker der Welt - die am CERN forschen. Damit ist CERN das weltweit mit Abstand größte Forschungszentrum für Teilchenphysik. Der von 20 Mitgliedsstaaten bereitgestellte Jahreshaushalt des CERN beläuft sich für das Jahr 2008 auf umgerechnet 682 Millionen Euro. Der Bau des LHC hat noch einmal drei Milliarden Euro gekostet.

Auch die Vertreter der verschiedenen Stringtheorien, die von der Existenz von mehr als vier Dimensionen ausgehen, schauen gebannt nach Genf. Sie vermuten, dass es zusätzlich zu unseren drei Raum und einer Zeitdimension noch bis zu sieben weitere Dimensionen gibt. Die Existenz von mehr als vier Raumdimensionen wäre eine Erklärung für das Phänomen, dass die Gravitation von allen vier Grundkräften die schwächste (um mehrere Zehnerpotenzen) ist. Weil sie als einzige Kraft in allen Dimensionen wirkt, verliert sie durch die Ausdehnung enorm an Wirkung. Ein Hinweis, wenn auch kein Beweis für die Richtigkeit der Annahme von Extra-Dimensionen, wäre die Erzeugung mikroskopisch kleiner Schwarzer Löcher bei den

Beschleunigerexperimenten. Unter der Annahme, dass es nur 3+1 Dimensionen gibt, sollte die Energie des LHC viele Millionen Mal zu klein sein, um Schwarze Löcher zu erzeugen. Wenn es jedoch mehr als 3+1 Dimensionen gibt, und darauf hoffen alle Wissenschaftler am CERN, dann sinkt die Energiedichte, die nötig ist, ein mikroskopisch kleines Schwarzes Loch zu erzeugen. Und dann lassen sich diese auch im LHC erzeugen, etwa eines pro Sekunde, so schätzt man.

### "Hic sunt leones"

"Hier sind Löwen", schrieben Kartographen zur Zeit der Römer auf Landkarten, die jene Teile der Erde darstellten, die als vorhanden angenommen wurden, aber als unerforscht, wenngleich verheißungsvoll, galten. Ähnlich verhält es sich mit dem LHC. Vor allem in Diskussionsforen des Internet, aber auch vor einem Gericht auf Hawaii wird um die Frage gestritten, ob Schwarze Löcher oder sogar seltsame Teilchen, so genannte Strangelets, die im LHC erzeugt werden könnten, gefährlich für die Menschheit sein könnten. Die Gruppe der LHC-Kritiker hat dabei außer zwei US-Physikern und einem deutschen Chaosforscher nicht sehr viele Experten aufzubieten. Dafür stehen sie einer Phalanx aus Teilchenphysikern, theoretischen Physikern und Relativisten aus allen Ländern gegenüber, die das für blanken Unsinn halten.



CERN  
Computersimulation  
eines Schwarzen  
Lochs

### INFOBOX

#### Hawking-Strahlung

Der britische Physiker Stephen Hawking hat 1974 Einsteins Relativitätstheorie und die Quantenfeldtheorie auf Schwarze Löcher angewandt und festgestellt, dass Schwarze Löcher Strahlung aussenden müssen, weil sie einen Ereignishorizont haben. Am Ereignishorizont, der Grenze, an der selbst die Photonen des Lichts in das Schwarze Loch gesogen werden, entstehen aus dem Vakuum ständig Teilchen-Antiteilchen-Paare, die sich nach einer unmessbar kurzen Zeitspanne wieder gegenseitig auslöschen. Hawking errechnete, dass es häufiger dazu kommen muss, dass eines der Teilchen über den Ereignishorizont ins Schwarze Loch gezogen wird, während das andere entkommt. Aus dem virtuellen Teilchen wird ein reales Teilchen, das aus dem Schwarzen Loch herausfliegt. Dies führt für das Schwarze Loch zu einem tatsächlichen Energieverlust. Große Löcher gleichen dies durch die Aufnahme von Materie mehr als aus, kleine Löcher hingegen "verhungern", senden Strahlung aus und werden dabei immer dünner und heißer.

Sowohl die US-Wissenschaftler Walter L. Wagner und Adam Helfer als auch der Tübinger Chemie-Professor und Chaosforscher Otto Rössler sind der Meinung, dass die von Stephen Hawking beschriebene Hawking-Strahlung nicht existiert. Die Hawking-Strahlung sollte bei einem kleinen Schwarzen Loch, wie es typischerweise im Beschleuniger entstehen könnte, dafür sorgen, dass es im winzigsten Bruchteil einer Sekunde (genauer  $10^{-23}$  Sekunden, also 23 Nullen hinter dem Komma), unter Aussendung von Teilenschauern, Lichtphänomenen und Energieausbrüchen regelrecht verdampft. Das Problem der Hawking-Strahlung ist aber, dass sie noch nie gemessen wurde. Bei großen Schwarzen Löchern überstrahlt der Materiefluss der Akkretionsscheibe (der Ebene, in der Materie in das Loch kreiselt) jede andere Strahlung und kleine Schwarze Löcher in der Natur wären zu kurzlebig, wenn sie existierten. Sie sind ebenfalls noch nie beobachtet worden.

#### Diskussion mit O. Rössler und Andreas Müller bei Kosmologs

Das ZDF ist für den Inhalt externer Internetseiten nicht verantwortlich.

## Hawking oder nicht Hawking?

Wagner, Helfer und Rössler sind bei ihren Berechnungen zu dem Ergebnis gekommen, dass auch kleinste Schwarze Löcher stabil sind. Allerdings, so der Vorwurf aus der Physikergemeinde, haben sie dabei mathematische Wege beschritten und Gleichungen und Theorien miteinander gekoppelt, die Unsinn ergeben, wenn man sie auf etwas anderes als Schwarze Löcher anwendet.

"Die Vorhersage, dass Schwarze Löcher strahlen, baut auf sehr gut verstandene und experimentell getestete Theorien: Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie und die Quantenfeldtheorien des Standardmodells. Die Schlussfolgerung ist wohlbegründet und widerspruchsfrei. Die alternativ vorgeschlagenen Theorien sind entweder nicht wohlbegründet oder nicht konsistent", so die Physikerin Sabine Hossenfelder vom kanadischen Perimeter Institute. Auch der deutsche Physiker Andreas Müller vom Exzellenzcluster Universe der TU München hält die Thesen von Otto Rössler für nicht publikationsfähig: "Insgesamt legt Rössler ein sehr zweifelhaftes Gedankengebäude zur Relativitätstheorie dar und beruft sich auf Widersacher Einsteins", schreibt er.

### INFOBOX

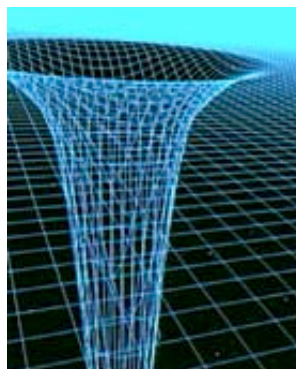
#### **Kleine Black Holes müssen hungern**

Nur für kleine Schwarze Löcher würde die Hawking-Strahlung zum Problem. Sie wären selber etwa tausend Mal kleiner als ein Proton oder Neutron. In dieser Welt des Allerkleinsten herrscht aber weitgehend Leere zwischen den einzelnen Atomkernen. Selbst wenn die Erde aus schön dichtem Eisen wäre, so müsste ein kleines Schwarzes Loch rund 200 Kilometer durch die Erde fliegen, bevor es statistisch auf einen Atomkern treffen könnte. Ob es dann in der Lage wäre, nennenswerte Masse an sich zu reißen, ist zweifelhaft. Die Gravitation ist in dieser Größenordnung die schwächste aller Kräfte. Zugleich verliert das Schwarze Loch aber durch die Hawking-Strahlung so viel Energie, dass es niemals 200 Kilometer - nicht einmal zwei Zentimeter - zurücklegen könnte, bevor es verhungert wäre.

Sowohl Hossenfelder als auch Müller sind der Ansicht, dass die Existenz der Hawking-Strahlung theoretisch sehr gut in der experimentell bewiesenen Relativitätstheorie und der experimentell ebenfalls bewiesenen Quantenphysik abgesichert ist. Müller geht sogar noch weiter und schreibt: "Würde Rössler mit diesen neuen Interpretationen richtig liegen, wäre das ein "Totschlagargument" dafür, dass klassische Schwarze Löcher in der Natur existieren!" Damit führte sich Rösslers Theorie selbst ad absurdum. Außerdem verletzte Rösslers Annahme einer variablen Vakuumlichtgeschwindigkeit einen zentralen und nachgewiesenen Punkt der Einsteinschen Relativitätstheorie, der Konstanz von Lichtgeschwindigkeit in allen Bezugssystemen.

## Der LHC als Fabrik für Schwarze Löcher

Der LHC wird, wenn die Stringtheorie zutrifft, tatsächlich viele kleine Schwarze Löcher produzieren. Dies bestätigen unisono alle einschlägigen Publikationen, dies hofft die Gemeinschaft aller Teilchenphysiker und dies bestätigt sogar ein Schreiben des CERN an Stephen Hawking. Sowohl am CERN als auch weltweit an Universitäten hat man sich im Vorfeld Gedanken darüber gemacht, ob die Produktion Schwarzer Löcher zu einem Problem für die Erde führen



könnte. Dazu benutzte man eine lange etablierte Methode der Suche nach analogen Vorgängen in der Natur. Man fand diese Vorgänge in der kosmischen Strahlung, die seit fünf Milliarden Jahren beständig auf die Erdatmosphäre trifft und dort Teilchenkollisionen mit ähnlicher und sogar weit höherer Energie auslöst. Seit fünf Milliarden Jahren hat dies aber nicht dazu geführt, dass ein Schwarzes Loch die Erde verschlungen hätte.

ZDF  
Ein Loch in der Raumzeit:  
Black Hole

## INFOBOX

### Neutronenstern ade?

Ein anderes Analogon sind Neutronensterne. Aufgrund ihrer höheren Dichte (ein Kubikzentimeter Neutronenstern hat so viel Masse wie ein Kubikkilometer irdisches Eis) müssten Kollisionen mit Teilchen der kosmischen Strahlung dort noch viel häufiger und mithin die Gefahr, von einem Schwarzen Loch aufgefrassen zu werden, noch viel größer sein. Neutronensterne lassen sich aufgrund des Alters des Weltalls in allen Stadien beobachten. Aber noch nie wurde beobachtet, dass ein Neutronenstern von einem Schwarzen Loch aufgefrassen wurde und dies müsste tatsächlich ein kosmisches Feuerwerk hervorrufen.

Rössler und andere wenden allerdings ein, dass es sich dabei um Teilchen handelt, die mit Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit auf Teilchen treffen, die fast in Ruhe seien. Alle Resultierenden dieses Stoßes müssten aufgrund des Impuls-Erhaltungssatzes - ähnlich wie bei einer Billard-Kollision - enorme Geschwindigkeiten haben und damit das Erdschwerefeld verlassen, bevor sie Schaden anrichten könnten. Im LHC komme es hingegen zu Frontalkollisionen, bei denen Teilchen und Schwarze Löcher erzeugt werden könnten, die keine ausreichende Fluchtgeschwindigkeit hätten. Dies aber, so wenden andere Physiker ein, geschehe ebenfalls in der Erdatmosphäre, wo auch Frontalzusammenstöße, wenn auch zu einem geringen Prozentsatz, möglich seien. Der lange Zeitraum von fünf Milliarden Jahren und die schiere Menge an Kollisionen die schon stattgefunden haben müssten, zeigten, dass offenbar keine Gefahr bestehe.

## Wie schnell frisst ein Schwarzes Loch?

Helfer und Rössler fürchten aber nicht nur, dass die mikroskopischen Schwarzen Löcher nicht verdampfen, sie fürchten auch, dass diese Objekte wesentlich schneller Materie aufsammeln, als bislang berechnet. Damit bestände ihrer Ansicht nach die Gefahr, dass die Erde in absehbarer Zeit, vielleicht sogar in wenigen Jahren vernichtet würde. Wagner klagt deshalb vor dem US-Distriktsgericht in Honolulu und will den Start der LHC-Experimente stoppen. Rössler spricht sogar von einer Frist von 50 Monaten, die er errechnet haben will.



CERN

Stephen Hawking 2006 mit dem CERN-Direktor Robert Aymar

Dies halten aber offenbar sämtliche Physiker für unseriös. Wie schnell stellare Schwarze Löcher an Masse gewinnen, ist bekannt und berechnet. Dafür existiert bereits eine Formel, die so genannte Eddington-Akkretionsrate, die erfolgreich bei der Beobachtung Schwarzer Löcher, Quasare und Galaxien genutzt wird und überprüfbare Ergebnisse liefert. Laut Andreas Müller ist die Behauptung Rösslers, die Physik gehe von linearem Wachstum bei Schwarzen Löchern aus, schlicht falsch. Die Eddington-Formel rechnet ein exponentielles Wachstum. Ein Wachstum zumal, das astronomisch beobachtet werden kann.

## Wie viel Risiko darf's sein?

Am Schluss reduziert sich auch diese Diskussion auf die Frage, wie viel Risiko denn überhaupt sein darf. Dies hat bereits der britische Wissenschaftler Martin Rees in seinem Buch "Unsere letzte Stunde" diskutiert. Wie sieht das richtige Verhältnis zwischen den Risiken eines Experiments, seinen Chancen und der maximalen Zahl der Betroffenen aus? Welche Diskussionen müssen geführt werden, bevor Experimente stattfinden können, deren Ausgang für alle fatal sein könnte? Und noch schwieriger: Wie berechnet man die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, das sich noch nie ereignet hat?

### INFOBOX

#### Trinity oder das Ende der Welt

Schon vor dem ersten Atombombentest, dem Trinity-Test in der Wüste Nevadas, gab es unter den Mitgliedern des Manhattan-Projekts eine heftige Diskussion. Viele stellten sich die Frage, ob eine Kernexplosion nicht die gesamte Erdatmosphäre in einen Kernbrand versetzen und die Menschheit vernichten würde. Die Los-Alamos-Wissenschaftler E. Konopinski, C. Marvin und Edward Teller setzten sich daraufhin zusammen und errechneten, die Wahrscheinlichkeitsgrenze für einen Kernbrand der Erdatmosphäre durch eine Atombombe liege bei 1 zu einer Million. Dieses Risiko schien allen Beteiligten akzeptabel für die Aussicht, eine alliierte Atombombe zu entwickeln.

Betrachtet man lange Zeiträume und große Zahlen, so gibt es im ganzen Universum keine hundertprozentige Garantie dafür, dass irgendein Ereignis - und sei es auch noch so unwahrscheinlich - völlig ausgeschlossen ist. Solange ein Ereignis noch nie stattgefunden hat, lässt sich eben auch keine Eintrittswahrscheinlichkeit errechnen, sondern nur ein Grenzwert, der besagt, bis zu welcher Wahrscheinlichkeit es eben bislang noch nicht aufgetreten ist. Dies hat jedoch nur eine sehr geringe Aussagefähigkeit. So könnte man sich beispielsweise folgende Frage stellen: Wie sicher kann ich sein, dass nicht morgen früh die Welt untergeht, weil ich mich rasiere? Die Rechnung ist recht einfach: Geschätzt eine Milliarde Menschen rasiert sich jedes Jahr an 300 Tagen, vielleicht seit 1000 Jahren. Dann verlief die Wahrscheinlichkeitsgrenze bei 1 zu 300 Billionen. Aber ob das Sinn macht?

---

© ZDF 2009