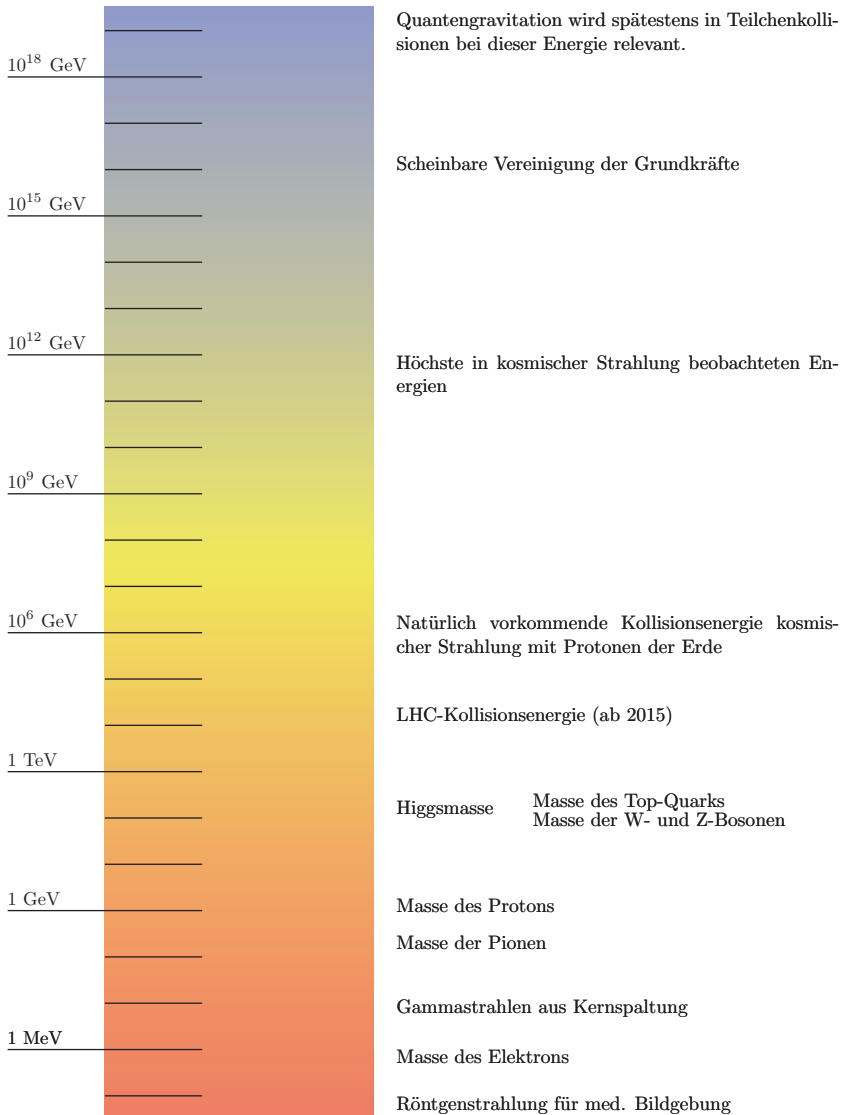


---

## Der Weltuntergang, das Elektronenvolt und Du

**Energie im Alltag und in der Teilchenwelt** In der Einleitung hatte ich bereits die Maßeinheit TeV verwendet, ohne sie zu definieren. Dabei handelt es sich um ein in der Teilchenphysik häufig verwendetes Maß für eine Energiemenge. Die Grundeinheit ist eigentlich das *Elektronenvolt*, das mit eV abgekürzt wird. Es ist die Energie, die ein einzelnes Elektron gewinnt, wenn es in einem Stromkreis eine Spannungsdifferenz von einem Volt durchlaufen hat – daher der Name. Dabei handelt es sich um eine für Alltagsverhältnisse verschwindend kleine Energiemenge – ein einzelnes Lichtquant des grünen Lichts hat etwa 2,4 eV. Zum Vergleich: Eine Kilowattstunde, also die Energie, die ein Haushaltsgerät mit 1000 W Leistungsaufnahme in einer Stunde verbraucht, entspricht etwa  $6 \times 10^{25}$  eV (also einer 6 mit 25 Nullen). Da ein eV auch für teilchenphysikalische Verhältnisse eine recht kleine Energiemenge ist, stellt man ein k, M, G oder T vorne an, was für kilo (Tausend), Mega (Million), Giga (Milliarde) und Tera (Billion) steht. Die Energie der einzelnen Röntgenquanten, die aus dem Gerät ihres Radiologen kommen, beträgt bis zu 150 keV. Die höchsten in der kosmischen Strahlung gemessenen Teilchenenergien liegen bei etwa  $10^{11}$  GeV. Die im LHC beschleunigten Protonen erreichen seit dem Frühjahr 2015 eine Energie von 6,5 TeV, also 6,5 Billionen eV, was einer Kollisionsenergie von 13 TeV entspricht. Da es nicht praktikabel ist, eine Spannungsquelle mit 6,5 Billionen Volt aufzustellen, bekommen Teilchen in modernen Großbeschleunigern ihre Energie nach und nach in vielen kleineren Einzelportionen. Auch wenn die Energiemenge, die von *einzelnen* Protonen am LHC getragen wird, für Alltagsverhältnisse (z. B. im Vergleich zu einer kWh) immer noch sehr klein ist, ist sie für Teilchenverhältnisse gewaltig – daher wird die Disziplin auch als Hochenergiephysik bezeichnet. Zudem muss man sich bewusst machen, dass der Strahl des LHC hunderte Billionen Protonen enthält!



**Abb. 1** Eine Übersicht über die in der Teilchenphysik relevanten Energieskalen

In Abb. 1 sind verschiedene für die Teilchenphysik relevante Energieskalen noch einmal graphisch dargestellt. Dabei sind die Massen von Teilchen wieder als Ruheenergie angegeben. Das Ende der energetischen Fahnenstange ist die

Planck-Energie bei  $1,2 \times 10^{19}$  GeV, bei der spätestens die naive Vereinigung der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Quantenfeldtheorie zusammenbricht und neue Ideen benötigt werden, wie die Quantentheorie der Gravitation funktionieren könnte. Die Planck-Energie liegt weit jenseits dessen, was man mit Hilfe von Beschleunigern im Labor erreichen kann.

**Zerstört der LHC die Welt?** Oben hatte ich erwähnt, dass kosmische Teilchen mit gewaltigen Energien von  $10^{11}$  GeV beobachtet wurden. Das ist viel mehr als alles, was wir im Labor an Teilchenenergien erzeugen können. Hier hat ein einzelnes Teilchen so viel Bewegungsenergie wie ein schnell geworfener Ball. Würden zwei solcher kosmischer Teilchen durch Zufall frontal aufeinander treffen, hätten wir tatsächlich eine Streureaktion, in der  $2 \times 10^{11}$  GeV umgesetzt werden können. Das ist aber extrem selten. Stattdessen treffen diese Teilchen typischerweise auf ein in der Erde oder Erdatmosphäre ruhendes Teilchen, beispielsweise ein Proton. Aber wenn das passiert, wahrscheinlich nicht da, wo wir gerade unsere Instrumente aufgestellt haben. Ein solches ruhendes Proton steuert aber nur seine Ruheenergie von etwa 1 GeV bei. Die Energie, die bei einem solchen Zusammentreffen effektiv umgesetzt wird, die sogenannte *Schwerpunktsenergie*, ist viel geringer als  $10^{11}$  GeV. Nicht umsonst gibt es die Redensart „Mit Kanonen auf Spatzen schießen“ für einen großen, aber wenig effektiven Energieaufwand – die Kanonenkugel würde fast ungehindert weiterfliegen und nur einen winzigen Anteil ihrer Energie daran verlieren, dem armen Vogel den Garaus zu machen. Ähnlich ist es hier: trifft ein kosmisches Teilchen mit  $10^{11}$  GeV auf ein ruhendes Proton, wird diese Energie fast gänzlich in die Bewegungsenergie der Streuprodukte gehen, und nur ein sehr kleiner Anteil davon wirklich zur Verfügung stehen, um z. B. neue schwere Teilchen zu produzieren. Wie viel genau? Wenn  $E_{bewegt}$  die Energie des Teilchens der kosmischen Strahlung, und  $E_{Ruhe}$  die Ruheenergie des auf der Erde still sitzenden Teilchens ist, dann ist die eigentliche Schwerpunktsenergie in solchen ungleichen Konstellationen durch den Zusammenhang

$$E_{Schwerpunkt} \approx \sqrt{2 \times E_{bewegt} \times E_{Ruhe}}$$

gegeben<sup>1</sup>. Dies ist in der hier betrachteten Situation mit stark ungleichen Energien sehr viel weniger als die Summe der beiden Energien  $E_{bewegt} + E_{Ruhe}$ . Ein ruhendes Proton hat eine Ruheenergie von  $E_{Ruhe} = mc^2 \approx 1$  GeV, und die Formel ergibt

<sup>1</sup> Diese Formel ist auch für sogenannte *fixed target*-Experimente gültig, in denen ein Beschleunigerstrahl auf ein ruhendes Zielobjekt geleitet wird. Dazu finden Sie mehr im experimentellen Teil.

damit für die Kollision mit besonders energiereicher kosmischer Strahlung eine Schwerpunktsenergie von

$$E_{\text{Schwerpunkt}} \approx \sqrt{2 \times 1 \text{ GeV} \times 10^{11} \text{ GeV}} \approx 450.000 \text{ GeV}$$

Das ist immer noch sehr viel, aber nur noch etwa 35 mal so viel wie die aktuelle Schwerpunktsenergie des LHC von 13.000 GeV. Dennoch ist es mehr als das, was wir im Labor erreichen. Was am LHC passiert, spielt sich also auch seit Milliarden von Jahren mit gleicher und höherer Energie in der Natur ab. Das ist eine wichtige Einsicht, um Sicherheitsbedenken gegen den LHC zu zerstreuen.

Da beispielsweise keines der großen Objekte im Sonnensystem inzwischen zu einem schwarzen Loch kollabiert ist, kann man davon ausgehen, dass diese Kollisionen mit kosmischer Strahlung, und damit auch die schwächeren Kollisionen im LHC, keine solchen Katastrophen bewirken. Der Teufel steckt hier aber im Detail, und man muss etwas genauer hinsehen.

Einen wichtigen Unterschied zwischen den Kollisionen mit kosmischer Strahlung und jenen im LHC gibt es nämlich: Würde man am LHC etwas potentiell gefährliches produzieren, beispielsweise ein (hypothetisches!) stabiles schwarzes Loch, wäre dieses neue Objekt aufgrund der symmetrischen Stoß-Situation aus Sicht der Erde in etwa in Ruhe und könnte so vielleicht sein Unwesen treiben. Entsteht es in Kollisionen mit kosmischer Strahlung, bekäme es, wie oben erklärt, sehr viel Bewegungsenergie mit und würde so unter Umständen die Erde verlassen, bevor etwas passieren kann. Damit wäre die Vergleichbarkeit mit der Situation am LHC nicht mehr gegeben. Allerdings würde jedes durch kosmische Strahlung erzeugte *elektrisch geladene* schwarze Loch, auch wenn es mit hoher Geschwindigkeit erzeugt wird, sofort abgebremst, womit die Prozesse der kosmischen Strahlung dann doch wieder als Vergleich zum LHC erhalten können. Man muss aber betonen, dass die Möglichkeit der Erzeugung solcher mikroskopischen schwarzen Löcher rein spekulativ ist. Selbst, wenn sie tatsächlich existieren sollten, sagt die Theorie aus, dass sie harmlos wären und sofort wieder zerfielen. Dieses und ähnliche Szenarien wurden ausführlich im Bericht der *LHC Safety Assessment Group* untersucht, der nebst weiteren Kommentaren unter <http://press.web.cern.ch/backgrounders/safety-lhc> zu finden ist. Um es nicht zu spannend zu machen: Der Bericht kommt zu dem Ergebnis, dass der LHC nicht instande dazu ist, den Weltuntergang herbeizuführen.



<http://www.springer.com/978-3-658-11626-2>

Neustart des LHC: das Higgs-Teilchen und das  
Standardmodell

Die Teilchenphysik hinter der Weltmaschine  
anschaulich erklärt

Knochel, A.

2016, XIII, 45 S. 8 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-11626-2