

In the beginning there was nothing.  
And the Lord said: "let there be light"  
and there was still nothing,  
but now you could see it.

Terry Pratchett

## Basics Elementarteilchen

Elementarteilchen haben zwar in den letzten Jahren etwas von ihrer Faszination verloren (weil selbst der Durchschnitts Hardcore Physiker nur mehr eine ganz vage Vorstellung davon hat, um was es bei dem "*Higgs - Boson*" eigentlich geht, nach dem im Moment mit einem Aufwand von mehreren Milliarden gesucht wird), sind aber nach wie vor die Grundlagedes Verständnisses für Materialien

- Hier werden jedoch nur die wichtigsten Elementarteilchen ganz kurz behandelt. Alles was zu Stichworten wie "*Quarks*", "*Neutrinos*", "*starke und schwache Wechselwirkung*", usw. zu sagen wäre, kann in zahlreichen populärwissenschaftlichen Büchern, oft von Nobelpreisträgern geschrieben, mit großem Gewinn gelesen werden, z.B in den Büchern von [S. Weinberg](#) oder von [Gell Mann](#).

Was sind Elementarteilchen?

- Keine ganz leicht zu beantwortende Frage, denn wenn man nur die Teilchen dazu zählt, die man nicht mehr in andere zerlegen kann, bleiben nur "**Quarks**" und ein paar andere Exoten.
- Nimmt man dagegen alles, was in Reaktionen zwischen Teilchen auftreten kann und eine irgendwie definierte eigene Identität besitzt, haben wir einen ganzen Zoo von weit über **100** "Elementarteilchen".
- Außerdem behaupten die Astrophysiker mit zunehmender Lautstärke, dass es noch weitere, bisher unbekannte Elementarteilchen geben müsse, die für die sogenannte "**Schwarze Materie**" im Universum verantwortlich sein müssten.

Wir gehen es deshalb pragmatisch an und behandeln nur die "Elementarteilchen" die für die unmittelbare Materialwissenschaft wichtig sind. Das sind im wesentlichen **Elektronen, Protonen, Neutronen, Photonen und Positronen**. Es ist wichtig, das "*Photon*", das "*Lichtteilchen*" mit zu den Elementarteilchen zu rechnen!

- Alle Elementarteilchen haben einige Eigenschaften, die unabänderlich und für sie charakteristisch sind. Für die meisten dieser Eigenschaften gelten **Erhaltungssätze**, d.h. sie müssen bei Reaktionen zwischen Elementarteilchen erhalten bleiben. Darüberhinaus können sie aber natürlich auch Eigenschaften haben, die variabel sind, z.B. kinetische Energie oder Impuls - auch für diese Eigenschaften gilt ein Erhaltungssatz *in Summe*.
- Zu den spezifischen Eigenschaften der Elementarteilchen gehören auch Eigenschaften oder "Dinge", die es in der "normalen" Physik nicht gibt, und die deshalb nicht in der Umgangssprache oder der Physiksprache des frühen **20.** Jahrhunderts erklärt werden können - es gibt einfach keine Wörter dafür.
- Ein Beispiel ist der **Spin** - es ist einfach *falsch*, sich den Spin eines Elementarteilchens als den Drehimpuls eines rotierenden Kügelchens vorzustellen - wie wäre das dann beim Photon, das auch einen Spin hat? Am besten ist es, sich den Spin einfach als eine besondere Eigenschaft völlig analog zur Ladung vorzustellen - schließlich weiß auch niemand was "Ladung" mehr ist, als eine meßbare Eigenschaft von Elementarteilchen. Wir haben uns nur inzwischen an den Begriff gewöhnt, ohne dauernd versucht zu sein, ihn zu hinterfragen.

Was sind die wesentlichen Eigenschaften? Hier ist eine Liste:

- Ruhemasse**; normalerweise über  $E = mc^2$  in **eV** angeben. Warum Elementarteilchen die Ruhemasse haben, die sie haben, ist eine der spannendsten Fragen der Physik (hier spielt das [oben erwähnte](#) Higgs Boson mächtig rein). Da die kinetische Energie zur Ruhemasse hinzukommt, ist ein bewegtes Teilchen u.U. deutlich schwerer als ein ruhendes.
- Ladung**; kommt immer nur vor als  $\pm e$  oder **0**. Nur Exoten wie Quarks haben  $\pm n \cdot e/3$  als Ladung ( $n = 1$  oder **2**). Warum? Niemand weiß es.
- Spin**; entweder **0** oder ein Vielfaches von  $\pm 1/2$ ; maximal (bisher) **2** (für das "*Graviton*", das bisher nur postulierte "Quant" der Gravitation). Der Spin ist eine dimensionslose Größe.
- Familie** - alle Elementarteilchen sind entweder Mitglieder der *Leptonen*- oder *Hadronenfamilie* - oder sie sind *Photonen*. Bei Interaktionen muß die Zahl der jeweiligen Familienmitglieder erhalten bleiben (Antiteilchen zählen negativ).
- Hyperladung, Isospin, Strangeness, "Color", "Flavor"**, usw. Eine ganze Reihe von Eigenschaften, ausgedrückt in Zahlenwerten, die speziellen Gesetzen gehorchen (i.d.R. Erhaltungssätzen).

- Eine letzte wesentliche Eigenschaft, wenn man so will, ist die Tatsache, daß es jedes Teilchen in **zwei** Versionen gibt: Als "**Teilchen**" und als "**Antiteilchen**". Teilchen und Antiteilchen unterscheiden sich im Vorzeichen der meisten ihrer Eigenschaften, insbesondere der Ladung, aber nicht in allen. Auch Antiteilchen unterliegen im übrigen der Gravitation; es gibt keine negative Masse. Teilchen und Antiteilchen derselben Sorte "vernichten" sich, d.h. zerstrahlen unter Aussendung von z.B. Photonen, wenn sie sich begegnen.
- Die Existenz der Antiteilchen folgt zwangsweise aus der erweiterten Schrödingergleichung - der **Dirac Gleichung**. Es fiel am Anfang nur schwer, diese unerwarteten Lösungen einer für ganz andere Zwecke postulierten Gleichung zu glauben.

➤ Hier eine Tabelle einiger für die Materialwissenschaft wichtiger Teilchen mit ihren Eigenschaften (**HWZ** = Halbwertszeit)

	Elektron	Positron	Proton	Neutron	Photon	Müon
<b>Masse [MeV]</b>	0,511	0,511	938,28	939,57	0	105,66
<b>Ladung [e]</b>	-e	+e	+e	0	0	-e
<b>Spin</b>	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1/2
<b>Familie</b>	Lepton	Lepton	Hadron	Hadron	Photon	Lepton
<b>Isospin etc.</b>	nein	nein	ja	ja	nein	nein
<b>Bemerkungen</b>	stabil	stabil, Antiteilchen zum Elektron;	stabil ?	nicht stabil HWZ = 918 s	stabil sein eigenes Antiteilchen	nicht stabil HWZ = $2,2 \cdot 10^{-6}$ s

➤ Wozu braucht man diese Teilchen in der Materialwissenschaft?

- **Elektron**, **Proton** und **Neutron** ist klar: Das sind die Bauteile **aller** Atome. Aber Elektronen brauchen wir als Einzelteilchen für vieles andere auch noch - die **Elektronik**, zum Beispiel; oder für alles das mit **Elektronenstrahlen** zu tun hat.
  - **Neutronen** braucht man aber auch als Einzelteilchen, nicht nur im Atomkern. **Neutronenstrahlen** - erzeugt in Kernreaktoren oder speziellen Beschleunigern - sind aus der Festkörper- und Materialforschung nicht mehr wegzudenken. **Neutronenbeugung**, Neutronenstreuung, usw. sind feste Begriffe aus dem Arsenal moderner Analytik.
  - **Photonen** sind auch klar. Ohne "**Licht**" - Radiowellen, Infrarot, sichtbares Licht, Ultraviolett und Röntgenstrahlen inklusive - sieht die Welt sehr trübe aus - [siehe oben](#).
  - **Positronen**, die Antiteilchen des Elektrons, braucht man nicht nur in der Medizin für "**PET**", die **Positronen Emissions Tomographie** (was auch immer das ist), sondern auch für knallharte materialwissenschaftliche Untersuchungen zur **Diffusion**. Wer's nicht glaubt, betätigt den [Link](#).
  - Das **Müon** ist nach wie vor eines der großen Rätsel der Teilchenphysik. Es ist komplett verstanden und bekannt - es ist nichts weiter als ein zu schwer geratenes Elektron. Abgesehen von der größeren Masse (und dem "trivialen" Zerfall in ein richtiges Elektron und ein Neutrino-Antineutrino Paar), ist es völlig identisch mit dem Elektron. Aber warum? Niemand weiß es so richtig.
  - Das soll uns aber nicht daran hindern, Müonen zu benutzen. Erzeugt man einen Müonenstrahl (mit Mühe und viel Geld, aber ohne große Probleme), und schießt die Müonen ins Material, ersetzen sie für kurze Zeit in einigen Atomen die Elektronen - wir haben Müonenatome. Damit ändern sich Eigenschaften meßbar, und man kann Müonen als Sonden für Dinge benutzen, die sonst nur schwer der Messung zugänglich sind.
- Der große Rest - z.B das **Antiproton** oder **Antineutron**, alle Arten von **Mesonen**, die **Neutrinos**, **Hyperonen**, **Quarks**, usw., spielen **noch** keine Rolle in der Materialwissenschaft.
- Aber, wir wollen mal eine Vorhersage wagen: Während der aktiven Berufszeit der jetzigen (**2001**) Matwis Studierenden, wird mindestens **ein** weiteres Elementarteilchen wichtig werden.