

Prof. Dr. Harald Lesch

UNIVERSUM  
FÜR  
NEUGIERIGE



Prof. Dr. Harald Lesch

UNIVERSUM  
FÜR  
NEUGIERIGE

Vom Urknall bis heute

---

**KOMPLETT**MEDIA

---

Originalausgabe  
1. Auflage 2017  
Verlag Komplett-Media GmbH  
2017, München/Grünwald  
[www.komplett-media.de](http://www.komplett-media.de)  
ISBN: 978-3-8312-0445-8  
Auch als E-Book erhältlich

Lektorat: Herbert Lenz  
Korrekturat: Dunja Reulein  
Umschlaggestaltung: Guter Punkt, München  
Satz: Daniel Förster, Belgern  
Druck & Bindung: Elanders, Germany  
Printed in Germany

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrecht zugelassen ist, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Speicherung und Verarbeitung.

# INHALT

KULTURGESCHICHTE DER ELEMENTE .....	7
NATURPHILOSOPHIE .....	45
EINFÜHRUNG IN DIE RELATIVITÄTSTHEORIE ...	83
EINFÜHRUNG IN DIE QUANTENMECHANIK ....	119
DER ANFANG VON ALLEM .....	157
DUNKLE KRÄFTE UND ENERGIE .....	189
DER KREISLAUF DER MATERIE .....	219
BILDNACHWEISE .....	256



# KULTURGESCHICHTE DER ELEMENTE

Hier ist die Rede von den großen Männern der griechischen Philosophie, die auf die Frage »Was ist die Welt?« geantwortet haben: Wasser, Luft, Feuer, Erde. Es geht um den Anfang der Naturforschung, denn Naturwissenschaften sind die griechische Art, über die Natur nachzudenken.

Was ist die Welt? Die moderne Antwort auf eine alte Frage: Die Welt besteht aus Atomen, die wiederum nicht unteilbar sind, sondern aus Neutronen, Protonen und Elektronen bestehen. Das ist aber immer noch nicht elementar. Aus Demokrits Atomen wurden Quarks und Leptonen.

Am Anfang war die Kraft: Vier Grundkräfte regieren die Welt der Dinge: Schwerkraft, starke Kernkraft, schwache Kernkraft und Elektromagnetismus. Das Spiel dieser Kräfte hat alles erschaffen, was ist: Galaxien, Sterne, Planeten, Lebewesen und Gehirne.

Der große Zusammenhang: Naturwissenschaften können viel, aber nicht alles erklären. Wie hängt in dieser Welt,

auf diesem Planeten, Element mit Element zusammen? Was macht das System Erde aus? Ein Blick über die Fächergrenzen hinaus zur Methodik der Wissenschaft.

## Informationsexplosion

Wir leben in einer Zeit, in der das Wissen explodiert, so heißt es zumindest. Ich persönlich bin da ganz anderer Meinung. Ich habe eher den Eindruck, die Informationsmengen explodieren, von Wissen kann noch nicht die Rede sein. Wissen ist etwas ganz anderes.

Wirklich etwas zu wissen ist schon enorm. Das hängt nämlich nicht nur davon ab, was man alles an einzelnen Erkenntnissen über etwas hat, sondern dass man diese Erkenntnisse miteinander verknüpft.

Heute ist es in der Tat so, dass wir vor einer riesigen Flut von Informationen stehen. Wir stehen wie in einem Starkregen an Informationen und kriegen sie nicht zusammen. Auch von den Naturwissenschaftlern gibt es ungeheuer viele Nachrichten. Da hat wieder jemand was gefunden oder eine Gruppe was entdeckt und so weiter und so fort.

Wir leben wirklich in einer Zeit der Informationsflut, ein wahrer Tsunami. Aber Wachstum an Wissen ist etwas ganz anderes.

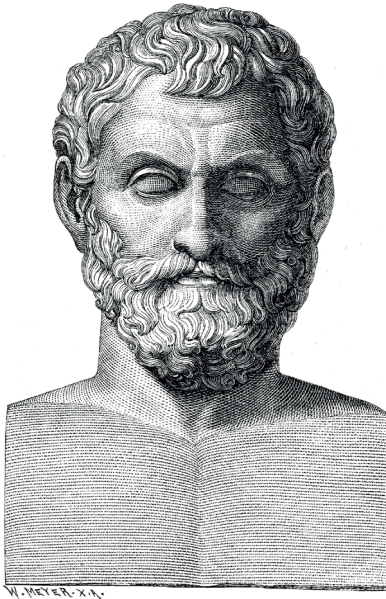
## Thales von Milet

Es gab eine Zeit, in der das Wissen der Menschheit förmlich explodiert ist. Nicht die Informationen, die waren alle schon da, aber das Wissen um die Verknüpfungen. Das hatte man



vorher nicht so gesehen. Durch einen genialen Lichtblitz kam gewissermaßen neues Wissen in die Welt.

Es war im 6. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung. Da stand jemand an der Küste von Kleinasien, der heutigen Türkei, in der Stadt Milet, und hat sich Folgendes überlegt: »Ist es möglich, die Welt zu verstehen ohne die Hilfe der Götter? Ist es möglich, die Dinge und Vorgänge um uns herum mit dem eigenen, gesunden Menschenverstand zu verstehen ohne die Hilfe vom Jenseits, vom Himmel?« Dieser Mann hieß Thales.



*Thales von Milet*  
(ca. 624 v. Chr. – ca. 547 v. Chr.)

Thales von Milet war der erste Philosoph, der erste Freund der Weisheit. Dieser Mann hat etwas getan, das vor ihm niemand gemacht hatte. Er hat sich überlegt, ob es neben den Göttern, die durchaus für ihn immer noch da waren, etwas Allgemeines gibt, etwas Ewiges, in das hinein sich alles erklären lässt, was auf dieser Welt passiert. Thales hat gesagt: »Alles in dieser Welt ist letztlich auf Wasser zurückzuführen.«

Wasser löst Dinge auf, es löst Gesteine auf. Aus dem Wasser erwachsen Dinge. Wasser, das Feuchte, war für ihn das erste und allgemeinste Prinzip. Was Thales da gedacht hat, steht am Anfang der griechischen Philosophie.

Die modernen Naturwissenschaften sind das Resultat der Anfänge der griechischen Philosophie. Mit anderen Worten: Naturwissenschaft ist die griechische Art, über die Welt nachzudenken.

Man nimmt einfach das, was da ist, und versucht, es mit dem eigenen Menschenverstand zu erklären. Nun hatten die Griechen noch keine Elementarteilchen-Beschleuniger und keinen elektrischen Strom. Aber sie hatten ihre Augen und ihren Kopf. Sie sahen und hörten von Dingen, die passierten, vor allem auch von den Dingen, die sich am Himmel ereigneten, und entdeckten für sich ein neues Weltbild. Sie wollten begreifen und die Dinge zusammenbringen.

## Die vier Elemente

Thales brachte das Wasser als Urelement in die Welt. Dann aber ging es weiter. Andere bestritten, dass das Wasser das Urelement sei. Sie waren der Meinung, es gäbe ein viel

wichtigeres Element: die Luft. Wenn Wasser zu heiß wird, dann löst es sich in Luft auf. Die Luft würde alles auflösen. Luft sei ohnehin auch leichter als Wasser. Deswegen sei die Luft das wichtigste Element überhaupt. Zumal man ohne Luft gar nicht leben könne. Die Luft sei auch etwas, das die Seele benetzt. Bei den Griechen ruhte die Seele im Zwerchfell. Also, die Luft sei das wirklich Wichtige.

Ein Dritter wiederum, Heraklit, war der Meinung, die Luft sei es auch nicht. Sie kann es gar nicht sein. Das Feuer sei das Element, um das es geht. Feuer kann alles verzehren, auch die Luft. Es ist das einzig richtige und wichtige Element.

Für Heraklit war das Feuer auch das Symbol für die ständige Verwandlung, die in der Welt stattfindet. Pausenlos verändern sich die Dinge. Deswegen ist das Feuer das einzige grundlegende Element.

Jetzt haben wir schon Wasser, Luft und Feuer. Dann gab es noch den Empedokles, der sagte: Jetzt haben wir Feuer, Wasser, Luft. Was fehlt uns noch? Das, worauf wir stehen, *Gaja*, die Mutter Erde.

## Vorsokratiker

Die vier Elemente – Feuer, Wasser, Luft und Erde – werden miteinander verbunden oder voneinander getrennt. Das war hochinteressant. Empedokles brauchte noch etwas, das die Elemente ineinander verwandeln konnte beziehungsweise durch Mischung der verschiedenen Anteile der Elemente verschiedene Dinge kreierte. Zum Beispiel: feuchte Erde, trockene Erde, feuchte Luft, trockene Luft, Wasser, das

flüssig ist oder zu Eis gefroren. Empedokles meinte dann: »Was haben wir dann? Liebe und Hass.«

Je nach Mischungsverhältnis zwischen den Elementen und den jeweiligen Liebes- und Hasskomponenten setzen sich die Dinge der Welt zusammen. So dachten die Vorsokratiker, die Männer, die vor der Zeit von Sokrates über die Welt nachdachten.

Sie alle waren Naturphilosophen. Im Grunde genommen Physiker, meine Kollegen sozusagen. Früher war Physik experimentelle Philosophie.

Nun haben sie damals noch keine Physik betrieben, das nicht. Aber es waren Philosophen, die darüber nachgedacht haben: Was ist die Welt, aus was besteht sie?

Die Elemente-Lehre – Feuer, Wasser, Luft und Erde – ist der menschliche Blick auf die Welt. Wir sind heutzutage ja von einem ganz anderen Welt- oder Naturbild umgeben. Da ist von Atomen die Rede. Übrigens auch eine Idee, die aus der griechischen Philosophie stammt, dass es unteilbare Teilchen gibt.

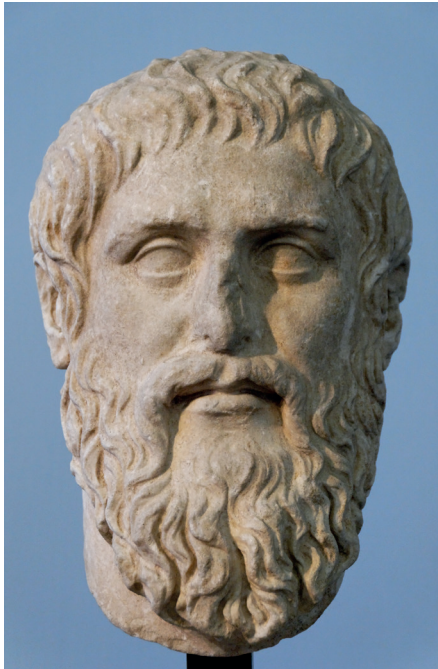
Was die Griechen da gemacht haben, war die Verbindung ihres Geistes mit ihrer Anschauung. Sie haben die Dinge so beschrieben, wie es ihrer Anschauung gemäß war. Die Anschauung ist das, wonach unter anderem auch unser Erkenntnisapparat im Kopf geschult worden ist.

Um uns herum gibt es Phänomene wie zum Beispiel die Luft, die sich bewegt. In der Atmosphäre der Luft entwickeln sich Wolken. Feuer verbrennt, Wasser verdunstet, kocht oder gefriert. Das ist alles der Anschauung gemäß. Die Erde als das Stabilste unter unseren Füßen. Es ist all das, was wir direkt spüren können. Das heißt, wir haben direkte

Sinneseindrücke. Die griechischen Vorsokratiker haben ihren Geist mit ihren Anschauungen verknüpft.

## Platon

Der nächste Schritt ist mit dem Philosophen Platon verbunden. Das ist schon die nächste Qualität in dieser Wissens-explosion, die sich dann beschleunigt hat.



*Platon*  
(427 v. Chr. – 347 v. Chr.)

Platon hat behauptet, die vier Elemente – Feuer, Wasser, Luft und Erde –, die Dinge, die wir hier sehen, sind nur das »Hier«. Es gibt aber eine ideale Welt, die wir gar nicht erkennen können. Da finden sich die Urprinzipien, die der Welt zugrunde liegen, das Wirkliche, die wirklichen Ideale, der Kern der Welt, der Kern der Dinge. Was wir sehen, ist nur deren Abglanz.

Platon hat die Elemente mit verschiedenen Körpern, mit regelmäßigen Polyedern zusammengebracht. Für ihn war die Mathematik, die in diesen Körpern steckt, ihre Symmetrie und Gleichmäßigkeit, Ausdruck für die Kraft, die in den Elementen steckt. Dabei waren ihm die Symmetrien in der idealen Welt wichtiger als die Elemente auf dieser Welt. Ein Idealist eben.

Er hat vor allen Dingen noch ein fünftes Element eingeführt, weil es für Platon undenkbar erschien, dass die vier Elemente – Feuer, Wasser, Luft und Erde – nicht in einem Urelement zusammenzufassen wären. Dieses Urelement, aus dem alles herausgeflossen ist, nannte er den Äther. Er hat den Äther durchaus mit einem Urprinzip verglichen. Danach stammen die vier Elemente letztlich alle aus einem Urzustand, der mit einem fünften Element verbunden ist.

## Aristoteles

Platons Schüler Aristoteles hat sich ebenfalls mit den Elementen beschäftigt. Dazu hat er noch Gründe in die Welt gebracht, in die Philosophiewelt, warum Dinge passieren.

Aristoteles hat zum Beispiel von einer *causa finalis* gesprochen, dem Zweck, weshalb etwas passiert. Übersetzt

heißt *causa finalis* die »Letztbegründung«, das Ziel, auf das es hinausläuft. Es weiß schon von vorneherein, wo es hinwill.



*Aristoteles*  
(384 v. Chr. – 322 v. Chr.) gilt als einer der  
großen Philosophen des Abendlandes.

In den Naturwissenschaften kennen wir heutzutage keine Letztbegründungen mehr. Doch Aristoteles hatte noch andere Gründe gefunden. Die *causa efficiens*, ist das, was tatsächlich passiert. Die *causa formalis* das, was zur Form gehört, und die *causa materialis* das, was es ist.

Aristoteles hat völlig anders über die Vorgänge nachgedacht als die Sokratiker oder die Vorsokratiker, die sich gemäß ihrer reinen Anschauung darum gekümmert haben, aus was die Welt besteht.

Platon hat sich nur mit den Elementen beschäftigt. Wie kriege ich die Elementvorstellung aus dieser Welt? Das, was um uns herum ist und was uns auch heute noch im Grunde genommen wirklich anspricht, nämlich die Elemente, die uns ausmachen. Wie bekommt man diese Elemente in seine Welt der Ideale?

Aristoteles erklärte die Welt dann tatsächlich als eine zweckgerichtete. Er war ein großer Beobachter der Umwelt, ein Mann der Anschauung. Bei Lebewesen hat er sofort gesehen, dass sie sich gemäß dem Zweck entwickeln. Ein Lebewesen will leben. Es ist kein Stein, der einfach nur rumliegt.

## Heraklit

Die Kulturgeschichte der Elemente ist eine einzige große Wissensexplosion. Man hatte verschiedene Einzelteile, von denen man zunächst einmal völlig überzeugt war, dass diese die Welt beschreiben.

Am Beispiel von Heraklit will ich noch einmal genauer erläutern, worum es eigentlich geht. Er ist derjenige unter den Vorsokratikern, der offenbar am deutlichsten gespürt und gesehen hat, was sich in der Natur als Prinzip durchsetzt. Das Prinzip der Veränderung.

Es gibt einen ruhigen Fluss von Zuständen, von Möglichkeiten, die immer gleich bleiben. Das stimmt. So schnell ver-



ändert sich die Natur nicht. Es passiert nicht pausenlos etwas. Wenn Sie eben noch das Haus betreten haben und im nächsten Moment hinausschauen, dann stehen da draußen keine anderen Bäume. Nein, es ist ein langer, ruhiger Entwicklungsstrom, der sich abspielt. Aber man kann ihn spüren.

Heraklit hat gemeint: »Du steigst niemals in denselben Fluss. Wenn du einmal aus dem Wasser gestiegen bist, dann ist das Wasser weitergeflossen.« Das ist für Heraklit der Ausdruck der ständigen Veränderung.

An der Oberfläche dieses Veränderungsflusses gibt es allerdings immer kleine Kräuselungen, Wellen, sodass sich hier und da leichte Veränderungen andeuten, das Ganze langsam neue Formen annimmt.

Der Begriff der Veränderung ist bei Heraklit mit dem Wort »Feuer« verbunden, der Kraft der Veränderung, der *Dynamis*. Heutzutage verstehen wir darunter den allgemeinen Begriff der Evolution.

Die Natur scheint ein Kraftfeld zu sein, das pausenlos all seine Möglichkeiten ausprobiert. Welche dieser Möglichkeiten sich durchsetzen, hängt davon ab, wie die Umwelt darauf reagiert. Wenn die Umwelt zu scharf und zu hart für diese neue Möglichkeit ist, dann wird die Möglichkeit niemals wachsen. Dann war es eben nur ein netter Versuch.

Aber eine Möglichkeit, die im entscheidenden Moment die richtigen Vorteile liefert, die kann sich durchsetzen. So ist die ganze Geschichte der Menschheit, die ganze Geschichte der Natur immer das Aufspüren von neuen Möglichkeiten.

Diejenigen, die das zum ersten Mal so klar und deutlich gedacht haben, waren die, die die Wissensexplosion bei

den Griechen hervorgebracht haben. Am Anfang stand tatsächlich das Wasser.

## Die Welt

Was ist die Welt? Diese Frage, von einem Physiker gestellt, führt natürlich zu der Frage:

Aus was besteht die Welt? Was die Welt wirklich ist, in ihrer Gesamtheit oder, wie es so schön heißt, in ihrer Ganzheit, in ihrer Gänze, das wissen wir sowieso nicht. Die Grenzen wissenschaftlichen Tuns sind da schon erkennbar. Lessing hat ja auch gesagt: »Die wirkliche Wahrheit ist nur etwas für die Götter.«

Was uns antreibt, ist im Gegenteil gar nicht so die Wahrheit – von der wissen wir inzwischen, dass wir sie nicht erreichen können –, sondern es sind die Lücken, die Wissenslücken. Die sind gewissermaßen die Vitaminspritze, mit der die Wissenschaften angetrieben werden.

Wissen wir etwas nicht, bringt das die Wissenschaft tatsächlich nach vorne. Das ist übrigens der große Unterschied zu Weltbildern und Ideologien, die ja immer vollständig sind, etwas ganz ohne Lücken anbieten. Ideologien und Religionen sind geschlossene Denksysteme. Die Wissenschaften hingegen sind offen und vor allem ständig in Veränderung.

Die Naturwissenschaften bieten auch kein Weltbild, sondern nur ein Naturbild an. Was die Welt mit ihren teilweise unwissenschaftlichen Erfahrungen insgesamt ist, darüber weiß die Naturwissenschaft häufig nichts zu sagen und auch nichts zu erklären. Das ist auch nicht unser Punkt.

Heute, hier und jetzt, geht es nur um das, was in der Welt tatsächlich drin ist, also die Materie.

Aus was besteht die Welt? Machen wir es ganz einfach. Machen wir es so, wie es tatsächlich passiert ist. Benutzen wir nur das, was uns tatsächlich zur Verfügung steht, ohne irgendwelche Hilfsmittel. Benutzen wir unser Gehirn und fangen an, etwas zu teilen. Dann hat man zwei Hälften. Eine Hälfte kann wieder geteilt werden. Man kann teilen und teilen und teilen. Gedanklich kann man sich das gut vorstellen. Etwas wird immer kleiner. Es wird kleiner und kleiner, und es kann noch viel kleiner werden.

## Atomos

Für die beiden griechischen Philosophen aus dem 5. vorchristlichen Jahrhundert Demokrit und Leukipp war klar, dass es etwas gibt, das nicht mehr weiter teilbar ist: *Atomos*. Da ist Schluss.

Mit diesem atomistischen Weltbild haben sie ein materialistisches Modell geschaffen. Hier ist nicht mehr die Rede von irgendwelchen Prinzipien, die da möglicherweise durch Hass und Liebe Elemente zusammenbringen. Letztlich besteht alles aus unteilbaren Teilchen, die nichts von der restlichen Welt wissen, sondern nur aufgrund der Zusammenstöße aneinander hängen bleiben. So ergibt sich ein festes Ding. Wenn sie nicht so fest aneinanderhängen, hat man es mit Luft zu tun. Wenn sie ganz leicht sind, dann eben mit Feuer.

Das ist eine materialistische Vorstellung von der Welt. Weil sie aus Atomen besteht. Die unteilbaren Teilchen kön-

nen durchaus verschiedene Formen haben. Die einen sind Kugeln, die klarste und reinste aller Formen. Die anderen sind vielleicht Würfel. Letztlich bleibt es bei der Unteilbarkeit der Atome. Dieses Bild von den Atomen, dass am Ende der materiellen Welt Teilchen übrig bleiben, die nicht mehr zu teilen sind, prägte bis ins 18. Jahrhundert das Bild der Naturwissenschaften.

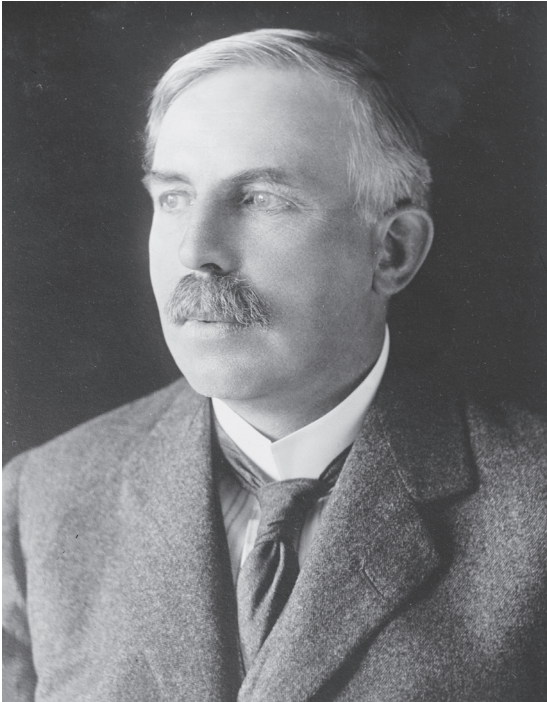
## Protonen, Neutronen, Elektronen

Im 19. Jahrhundert stellte man fest: Es gibt nicht nur eine Sorte von Atomen, es gibt viele. So entstand das *Periodensystem* der Elemente. Man unterteilte chemische Elemente nach ihren besonderen Eigenschaften.

Zunächst ganz fundamental: Metall oder nicht Metall. Dann die Gase und Edelgase, die mit nichts in Verbindung treten. Andere wiederum, die sogenannten Alkalimetalle, Natrium oder Lithium, verbinden sich sofort mit allem Möglichen. Dann gibt es die Halogene, Chlor oder Fluor, und die Kohlenstoff-Sauerstoff-Gruppe.

So entstand eine erste Klassifikation von chemischen Elementen. Sie enthielt nicht sehr viele, aber doch immerhin einige. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts ging es erst richtig los. Ein Teilchen wurde entdeckt: das *Elektron*, ein elektrisch negativ geladenes Teilchen. Dann entdeckte man, dass es offenbar im Atom nicht nur ein Elektron, sondern noch etwas anderes gibt. Atome sind ja nach außen hin elektrisch neutral. Da das Elektron negativ geladen ist, muss es in diesem Atom noch irgendetwas Positives geben.

Der Entdecker des Atomkerns war Ernest Rutherford. Er fand heraus, dass in einem Atom in einem verschwindend geringen Volumen positive Ladung versteckt ist. Ein *Proton*.



*Der neuseeländische Physiker Ernest Rutherford (1871–1937) wurde 1908 für seine Beschreibung der Alpha-, Beta- und Gammastrahlung sowie der Halbwertzeit mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet. Drei Jahre später formulierte er das nach ihm benannte Atommodell, das einen Atomkern beschrieb, der als außerordentlich kleines, positiv geladenes Teilchen im Zentrum des Atoms fast dessen ganze Masse vereinigt.*

Um eine Ahnung über die Größenunterschiede zu vermitteln, folgender Vergleich: Das Atom ist so groß wie ein Bundesligastadion. Das Elektron saust dann um den Atomkern auf dem obersten Tribünenrang, kurz vor den Würstchenständen herum. Der Atomkern wäre jetzt so groß wie ein Reiskorn am Anstoßkreis. Das Atom ist offenbar im Wesentlichen ein Nichts. Wenn es ein Wasserstoffatom ist, das erste Element im Periodensystem, gibt es ein Elektron und im Atomkern genau ein Proton.

Man wusste, dass ein Atom teilbar ist. Man kann so einem Atom das Elektron wegnehmen, ionisieren, dann ist das Elektron weg. Dann bleibt nur noch der Atomkern übrig.

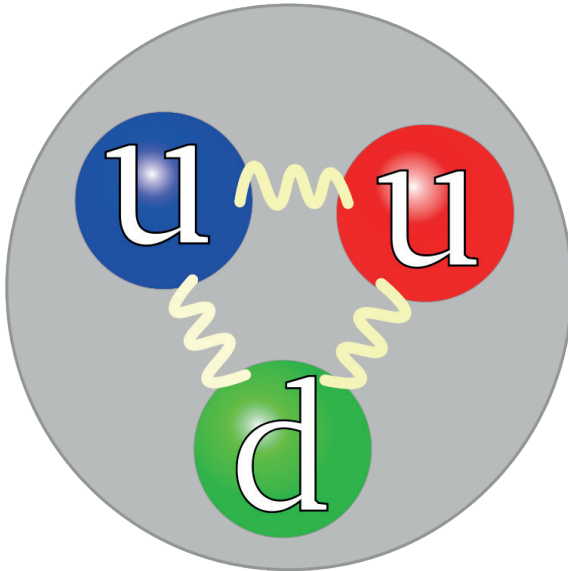
Dann stellte man fest, dass es bei größeren Atomkernen noch ein Teilchen gibt. In den Kernen eines Atoms gibt es nicht nur positiv geladene Protonen, sondern auch noch elektrisch ungeladene, also neutrale *Neutronen*.

Im Atomkern gibt es offenbar noch weitere Teilchen. Die Vorstellung stimmt, dass es unteilbare Teilchen gibt. Aber die waren noch nicht gefunden. Bis jetzt – wir sind jetzt gerade im Jahre 1930 angelangt – haben wir Protonen, Neutronen und Elektronen. Das ist aber noch nicht das Ende der Veranstaltung.

## Quarks

Die Materie besteht aus viel mehr. Wie sich später herausstellte, sind die Protonen und Neutronen ihrerseits aus *Quarks*, und zwar aus Up- und Down-Quarks zusammengesetzt. Ein Neutron besteht aus zwei Down-Quarks und

einem Up-Quark. Ein Proton ist zusammengesetzt aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark.



*Quarks sind im Standardmodell der Teilchenphysik die Elementarteilchen, aus denen Protonen und Neutronen bestehen. Ein Proton, bestehend aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark.*

Die Details brauchen uns hier gar nicht zu interessieren. Entscheidend ist, dass man heute, nach 100 Jahren intensivster Forschung an der Unteilbarkeit von materiellen Teilchen, zum ersten Mal der Meinung ist, man hätte tatsächlich elementare Teilchen vor sich.

## Elementarteilchen

Schauen wir uns ein Elektron an. Das Elektron ist nach dem heutigen Stand der Dinge ein Elementarteilchen. Das heißt, es lässt sich nicht weiter teilen.

Ich möchte es aber genau wissen. Dazu muss ich mit einem speziellen Mikroskop sehr genau auf das Elektron schauen. Ich will herauszufinden, ob das Elektron doch noch eine innere Struktur hat. Ist da noch etwas?

Wie schaut man in der Welt der Teilchen auf die Teilchen? Mit was? Das Mikroskop der Elementarteilchenphysik ist neben dem Gehirn derjenigen, die Elementarteilchenphysik betreiben, das Licht, genauer und richtiger gesagt die *elektromagnetische Strahlung*. Licht ist eine besondere Form von elektromagnetischer Strahlung und für uns besonders wichtig, weil unsere Sensoren besonders sensibel auf sichtbares Licht reagieren.

Jetzt muss man Folgendes wissen: Die Frequenz der Strahlung ist umgekehrt proportional zur Wellenlänge. Wenn etwas eine hohe Frequenz hat, hat es eine kleine Wellenlänge.

Ein Elektron ist wahnsinnig klein. Ich sage Ihnen mal eine Zahl,  $10^{-18}$  Meter. Das ist wirklich richtig klein. Das kann man sich nicht vorstellen. Wie guckt man da hin?

Man braucht eine Strahlung, deren Wellenlänge genau da liegt, besser noch kleiner ist. Jetzt gibt es aber ein Problem. Hohe Frequenz, also winzig kleine Wellenlängen bedeuten hohe Energien.

Ich nehme einfach mal eine Erkenntnis aus der Quantenmechanik, dass nämlich Energie proportional zur Frequenz ist. Mit anderen Worten, wenn man das Elektron sehr genau



mit elektromagnetischer Strahlung anschaut, dann stößt man das Elektron weg. Tut man das, kommt noch was viel Schlimmeres ins Spiel. Nicht nur die Quantenmechanik, sondern die Relativitätstheorie. Denn was jetzt passiert, das ist das große Geheimnis der Materie am letzten Punkt:  $E = mc^2$ .

Wenn ich etwas zu genau anschau, das heißt mit einer sehr, sehr kleinen Wellenlänge, also mit einer sehr hohen Frequenz, also auch mit sehr hoher Energie, werden aus der Strahlung, mit der ich das Objekt beobachte, Teilchen, Materie und Antimaterie.

Kurz und gut, ein genaues Betrachten des Elektrons ist nicht möglich. Schau ich es zu genau an, umgibt dieses Elektron ein waberndes Geflecht von Materie und Antimaterie. Das ist ein eindeutiges Zeichen dafür, dass ein Teilchen elementar ist. Wenn also nichts mehr möglich ist, ohne dass man es sozusagen mit Materie umgibt, die aus der Energie gewonnen wurde, mit der man das Teilchen angeschaut hat.

Genau das Gleiche passiert beim Quark. Auch da findet man keine Unterstruktur mehr. Am Ende besteht alle Materie aus Energie.

Naturwissenschaftlich sind wir hier an einem Punkt angekommen, der hochgradig dramatisch ist. Wir können nicht mehr was beobachten, ohne das Beobachtete durch unsere Beobachtung zu verändern. Wir sehen die Dinge gar nicht mehr so, wie sie sind, sondern wir sehen sie nur noch in dem präparierten Zustand, der dadurch zustande kommt, dass wir das Ding beobachten.