

# Der Aufbau der Materie

---

## Inhalt

- [Das Atom](#)
  - [Quarks](#)
  - [Die Grundstruktur der Materie, das Phänomen das hinter all dem steht?](#)
  - [Die Atomhülle](#)
  - [Anwendung: Bildröhre](#)
  - [Farbphotographien](#)
  - [Ionisation](#)
  - [Isotop](#)
  - [Antimaterie](#)
  - [Die vier Urkräfte](#)
  - [Radioaktivität](#)
  - [Nuklearwaffen](#)
  - [Energieerzeugung](#)
  - [Der Casimireffekt](#)
  - [Teilchen? Welle?](#)
- 

Dieser Text soll eine Einführung in die Welt der Teilchenphysik sein. Sie ist unvollständig, da dieses Themengebiet schlicht zu umfangreich und komplex ist um von einem Nicht-Physiker vollständig und wahrheitsgemäß beschrieben werden zu können. Ich hoffe der Leser gewinnt einen groben Überblick über das Thema, so daß die ersten Berührungängste überwunden werden können. Der Text sollte für jeden leicht verständlich sein, Kritik und Fragen sind jedoch natürlich stets willkommen. Vielleicht teilen Sie ja meine Faszination für dieses Gebiet, die Vorstellung, daß alles was existiert aus winzigsten Bausteinen besteht, deren Eigenschaften wir zwar (mit Einschränkungen) messen können, die aber dennoch unvorstellbar bleiben. Was hilft einem schon die Aussage, daß alles was ist Energie ist, wie soll man sich das vorstellen? Oder gar, daß jedes Elementarteilchen einem bestimmten Schwingungszustand der Raumzeit entspricht. Betrachtet man die Entwicklungen der modernen Physik, so kommt einem unweigerlich in den Sinn: Nichts ist schwerer vorstellbar, nichts ist faszinierender als die Realität.

Falls durch diesen Text Ihre Neugier geweckt werden konnte (bzw. sie einige Sachen einfach nochmal etwas genauer nachlesen wollen) so finden sie am Ende eine (natürlich unvollständige) Liste von Büchern und Links die meiner Meinung nach einen guten Überblick über das Thema bieten, wobei ich Ihnen leider die Hoffnung nehmen muß, daß ihnen Worte wirklich erklären können was es mit Quarks, Quantenmechanik und Stringtheorie auf sich hat. Allein die Mathematik kann Ordnung in dieses Chaos bringen, es wirklich verständlich machen.

## Das Atom

Nach der Theorie von N. Bohr (1913) ist jedes Atom aufgebaut aus einem elektrisch positiv geladenen Atomkern, der einen Durchmesser von etwa  $10^{-14}$ m hat und der fast die gesamte Masse des Atoms beinhaltet und der Atomhülle aus negativ geladenen Elektronen, die den Kern in großem Abstand auf bestimmten Bahnen umreisen. Das Atom an sich hat einen Durchmesser, welcher etwa zwischen  $10^{-10}$  und  $10^{-9}$  Metern liegt.

Der Atomkern besteht aus den sogenannten Nukleonen also den Neutronen und den Protonen. Protonen haben die Ladung +1, Neutronen sind elektrisch neutral. [1]

## Quarks

Protonen und Neutronen wiederum bestehen aus Quarks die etwa die Größe von Elektronen (dies gilt für die Up und Down Quarks) haben. Bisher sind sechs solcher Quarks bekannt und sie werden mit den Buchstaben u, d, c, s, t, b für up, down, charme, strange, top und bottom Quarks benannt. Für die stabile Materie spielen nur die up und die down Quarks eine Rolle.

Ein Proton besteht aus zwei up und einem down Quark, das Neutron aus zwei down und einem up Quark. Ein up Quark hat die elektrische Ladung  $+2/3$ , ein down Quark die elektrische Ladung  $-1/3$ . Daraus ergibt sich für das Proton:  $2/3+2/3-1/3=+1$

Für das Neutron:  $2/3-1/3-1/3=0$  (also elektrisch neutral).

Quarks können sich nur zu Zweier- und Dreiergruppen zusammensetzen. Teilchen die nur aus zwei Quarks bestehen nennt man Mesonen (welche aus einem Quark und einem Antiquark bestehen), Teilchen aus drei Quarks Baryonen.

Mesonen zerfallen sehr schnell, da sie aus Materie und Antimaterie bestehen. Quarks kommen nie als unabhängige Teilchen in der Natur vor, da eine spezielle Eigenschaft, die Farbe genannt wird, kein Vorkommen in der Natur erlaubt.

## Die Grundstruktur der Materie, das Phänomen das hinter all dem steht?

Bisher wurde angenommen, daß Quarks wie auch die Elektronen die kleinsten Teilchen und somit nicht weiter teilbar sind. Aber es gibt neue mathematische Theorien, die so interpretiert werden, daß die Ur-Bausteine der Materie, also die kleinsten aller Teilchen aus Twistoren, das heißt in sich verdrehte Raumzeit bestehen sollen. Materie/Energie ist also eine Eigenschaft des Raumes. Sie kann demnach nicht getrennt vom Raum existieren. Die String-Theorie beschreibt Materie als unglaublich kleine fadenartige Schwingungen des Raumes, eine Weiterentwicklung ist die M-Theorie die statt der Strings Membranen (daher der Name) annimmt. Materie als Eigenschaft des Raumes anzusehen ist eine elegante Erklärung für die schier unendliche Teilchenvielfalt die in den großen Beschleunigern entsteht. Verschiedene Materiearten sind demnach einfach unterschiedliche Schwingungen/Verformungen des Raumes.

Bisher ist diese Theorie aber weder bewiesen noch widerlegt. Allenfalls eine mathematische Widerlegung scheint denkbar, denn experimentell reichen die aufgewendeten Energien in den Beschleunigern bei weitem nicht aus um sich den Größenordnungen dieser Strings auch nur anzunähern.

## Die Atomhülle

Die Atomhülle besteht aus Elektronen. Ein Elektron hat die elektrische Ladung -1. Der Atomkern wird von ihnen in großem Abstand umkreist. In einem Wasserstoffatom im energetischen Grundzustand beträgt die Entfernung des Elektrons vom Proton etwa  $5,29 \cdot 10^{-11}$  m. Das scheint sehr wenig zu sein, aber wäre der Kern (hier das Proton) so groß wie ein Kirschkern (etwa 0,5 cm), so wäre das Elektron etwa 220 m von diesem entfernt.

Die Elektronen befinden sich in verschiedenen Orbitalen. Den s-, p-, d- und f-Orbitalen. Dabei kann ein s-Orbital 2 Elektronen, ein p-Orbital 6 Elektronen, ein d-Orbital 10 Elektronen und ein f-Orbital 14 Elektronen aufnehmen. Diese Orbitale verteilen sich über die verschiedenen Elektronenschalen (K, L, M, N, O, P, Q), welche den Hauptquantenzahlen n entsprechen. So steht K für die Hauptquantenzahl 1, L für 2, M für 3 usw.. Aus den Hauptquantenzahlen lassen sich Nebenquantenzahlen l bestimmen. Sie nehmen die positiven, ganzzahligen Werte 0 bis n-1 an. Für

$n = 1$  ist  $l$  somit 0, für  $n = 2$  ist  $l$  demnach 0 und 1. Aus der Nebenquantenzahl lässt sich die magnetischen Quantenzahl  $m_l$  erstellen. Für diese ergeben sich ganzzahlige Werte von -1 bis 1. Also für  $l = 1$ : -1, 0, 1, für  $l = 2$ : -2, -1, 0, 1, 2. Hinzu kommt noch die magnetische Spinquantenzahl  $m_s$ . Sie kann nur die Werte  $-\frac{1}{2}$  und  $+\frac{1}{2}$  annehmen.

Aus diesen lassen sich die Besetzungszahlen der verschiedenen Orbitale ableiten. Pro Orbital können zwei Elektronen "untergebracht" werden. Diese unterscheiden sich in ihrer magnetischen Spinquantenzahl. Das eine hat also den Wert  $-\frac{1}{2}$ , das andere  $+\frac{1}{2}$ .

Die Zahl der Orbitale richtet sich nach der magnetischen Quantenzahl. Pro Wert ein Orbital. Also gilt für die L-Schale:  $n = 2$ ,  $l = 0$  und 1, Für  $l = 0$  ist  $m_l = 0$ . Demnach 1 Orbital zu zwei Elektronen.

Wir erhalten das s-Orbital.

Für  $l = 1$  ist  $m_l = -1, 0$  und  $+1$ .

Demnach 3 Orbitale, zu je 2 Elektronen. Wir erhalten das p-Orbital. Bei  $n = 3$  dann das d-Orbital und schließlich für  $n = 4$  das f-Orbital. Pro Periode, bzw. Schale gibt es, wie gerade gezeigt wurde, jeweils alle für diese Periode verfügbaren Orbitaltypen. Also ab der zweiten Schale sind immer s- und p-Orbital vorhanden. Prinzipiell werden diese nun der Reihe nach aufgefüllt. Wasserstoff:  $1s^1$ . Das heißt im s-Orbital der ersten Periode befindet sich ein Elektron. Für das Helium gilt dann  $1s^2$ .

Für Kohlenstoff

$1s^2 2s^2 2p^2$ .

Da es recht umständlich ist immer alle Orbitale aufzuführen geht man schlicht vom vorangegangenen Edelgas aus und schreibt für Kohlenstoff

$[\text{He}]2s^2 2p^2$ .

Die Heliumkonfiguration wird somit gespart. Und so werden dann für jedes Element die Elektronenorbitale aufgefüllt.

Der Blick in das Periodensystem bestätigt dies jedoch nicht. Da tauchen Elemente mit besetztem d-Orbital erst für die 4. Periode (=N-Schale) auf und das erste f-Orbital wird erst in der 6. Periode (=P-Schale) aufgefüllt. Hier sind energetische Unterschiede zwischen den jeweiligen Orbitalen die Ursache. Das  $3s$ - und  $3p$ -Orbital liegen energetisch niedriger als das  $3d$ -Orbital. Dieses liegt in seiner Energie jedoch unter dem  $4p$ -Orbital. Auch hier gibt es dann wieder energetische Besonderheiten (so werden die Orbitale nicht immer der Reihe nach aufgefüllt und so gibt es auch Sprünge bei der ein s-Elektron seinen Platz verlässt und in ein d-Orbital wechselt). Aber diese im einzelnen zu besprechen würde an dieser Stelle zu weit führen. Dem Leser sei hier ein Blick in ein Standardlehrbuch der Chemie empfohlen.

Nun stellt sich manchen vielleicht die Frage wie diese Orbitale aussehen. Dazu sei zunächst gesagt, daß die Elektronen nicht wie im Sonnensystem die Planeten auf verschiedenen, festen Bahnen um den Kern kreisen. Sie haben eine bestimmte Aufenthaltswahrscheinlichkeit in bestimmten Bereichen im Raum um den Kern. Die Bereiche in denen diese Wahrscheinlichkeit wesentlich größer ist als Null werden als Orbitale bezeichnet. Das s-Orbital ist dabei eine Kugel, die p-Orbitale sind hantelförmig. Dabei liegen also drei hantelförmige Räume in allen drei Raumrichtungen übereinander, mit dem Kern als mittleren Bezugspunkt. Die d-Orbitale sind noch etwas komplizierter. Auch hier sei der Blick in ein Standardlehrbuch der Chemie empfohlen für jene die sich genauer zu diesem Thema informieren wollen, da die Form dieser Orbitale für unsere Zwecke nicht weiter relevant sein werden.

Die Bereiche in denen sich die Elektronen der Atomhülle aufhalten können sind keineswegs beliebig. Sonst könnte man zwischen den Orbitalen zudem auch nicht differenzieren. Je weiter das Elektron vom Kern entfernt ist, desto mehr Energie besitzt es. Daher werden auch die niedrigen Orbitale zuerst besetzt, da die stabilsten Zustände immer die der geringsten Energie sind. Ein Elektron kann durch Energiezufuhr auf eine höhere Bahn, also in ein höheres Orbital gebracht werden. Dabei braucht es jedoch ganz bestimmte Energien. Einen Ball kann man in beliebige Höhen werfen (sofern man genug Kraft, bzw. Energie hat), ein Elektron jedoch nicht. Es kann nur

von Orbital zu Orbital wechseln und zwischen diesen gibt es energetische Bereiche die verboten sind, also die das Elektron nicht annehmen kann. Die Energie der Orbitale und somit auch der Orbitalelektronen ist gequantelt. Dies erscheint uns seltsam. Einen Ball kann man doch wie gesagt in jede beliebige Höhe werfen. Wirft man etwas kräftiger fliegt er höher. Ebenso kann ein Auto mit jeder Geschwindigkeit zwischen Null und der Höchstgeschwindigkeit fahren. Dies wird verständlich, wenn man sich das Elektron nicht als Teilchen, sondern als Welle mit einer bestimmten Wellenlänge vorstellt. Gehen wir von einem kreisrunden Orbital aus. So kann sich das Elektron nur auf Kreisen bewegen die ein ganzzahliges Vielfaches seiner Wellenlänge als Umfang haben. Sonst fällt der Startpunkt der Welle nicht mehr mit dem Endpunkt der Welle zusammen und somit kann das Elektron auf dieser Bahn nicht existieren. Hätte das Elektron z.B. eine Wellenlänge von 1,5 nm, so könnte es sich nur auf Kreisbahnen befinden die einen Umfang von 1,5, 3, 4,5, 6, ... nm besitzen. Alle anderen Kreisbahnen wären nicht möglich.

Geht man nun von einem Gasatom aus und führt den Elektronen seiner Hülle eine passende Menge Energie zu, so wird ein Elektron in ein höheres Orbital wechseln. Dort verweilt es einen ganz kurzen Augenblick und fällt dann wieder auf sein ursprüngliches Niveau zurück. Dieses herabfallen kann in einem Schritt, aber auch in mehreren erfolgen. Dabei wird die Energie in Form von Strahlung der Energie

$$E = h \cdot \nu$$

$$h = 6,6260693 \cdot 10^{-34} \text{ J/s} = \text{Plancksches Wirkungsquantum}$$

$$\nu = \text{Frequenz der Strahlung [1/s]}$$

wieder frei die das Elektron zuvor aufgenommen hat um sein Orbital zu verlassen. Das Gasatom wird dabei also tatsächlich für einen Moment etwas größer.

Man sollte nun jedoch nicht den Fehlschluß begehen und meinen, daß dies auch die Ursache für die Ausdehnung fester Körper bei Erwärmung ist. Bei der Erwärmung von Festkörpern passiert genau dasselbe wie bei der Erwärmung von Flüssigkeiten oder Gasen: Die Atome erhalten mehr

$$\text{kinetische Energie } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Sie bewegen sich schneller durch den Raum. Da sie in einem Festkörper jedoch in einem begrenzten Bereich fest gebunden sind können sie hier nur eine oszillierende Bewegung vollziehen. Sie schwingen also um den Punkt im Raum den sie in einem idealen Festkörper bei 0 K einnehmen würde. Und je mehr kinetische Energie sie besitzen, desto stärker schwingen sie. Dies führt dazu, daß sich die Atomhüllen näher kommen. Da diese negativ geladen sind stoßen sie sich ab. Je näher sie sich kommen, desto stärker stoßen sie sich ab. Da das Atom in alle Raumrichtungen schwingt werden die benachbarten Atome in alle drei Raumrichtungen zurückgestoßen. Sie nehmen also im Mittel eine größere Entfernung zueinander ein und dies können wir dann als Volumenvergrößerung messen. Dies gilt im Prinzip auch für Flüssigkeiten und Gase, nur daß die Teilchen sich dort freier bewegen können. Je schneller sie sich bewegen, desto stärker und häufiger stoßen sie gegeneinander und drücken sich somit voneinander weg. Somit dehnen sich auch Wasser und Luft bei Erwärmung aus (wobei Wasser dies auch bei der Umwandlung in Eis tut, da im Eis die Wassermoleküle weniger dicht gepackt sind).

Zu bedenken ist hierbei auch, daß nicht alle Atome mit derselben Frequenz schwingen, sich nicht alle Teilchen mit derselben Geschwindigkeit bewegen. Es gibt eine breite Verteilung (Geschwindigkeitsverteilung) der Bewegungsenergien bzw. Geschwindigkeiten, ähnlich einer gauß'schen Wahrscheinlichkeitskurve. Je nach Temperatur liegt das Maximum an anderer Stelle. Bei niedrigen Temperaturen haben die meisten Atome eine niedrige Geschwindigkeit, das Maximum liegt also bei dieser Geschwindigkeit. Bei hohen Temperaturen liegt das Maximum bei einer höheren Geschwindigkeit. Bei idealen Gasen wird diese Verteilung Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung genannt.

Man nutzt die Tatsache, daß man Atome anregen kann, also ihre Elektronen kurzzeitig in ein höheres (=höherenergetisches) Orbital bringen kann, u.a. in Neonröhren. Elektronen werden in einem elektrischen Feld beschleunigt und treffen auf Neonatome. Die Energie des beschleunigten Elektrons wird an das Atom, bzw. die es umkreisende Elektronen weitergegeben, welche daraufhin eine höhere Bahn einnehmen, diese aber auch sogleich wieder verlassen und auf ein niedrigeres

Energieniveau hinabfallen, wobei ein Photon emittiert wird, was wir dann u.a. als Licht wahrnehmen.

Beschleunigte Elektronen (durch ein elektrisches Feld) strahlen generell Photonen ab, wenn sie abgebremst werden (z.B. durch Umpolung des Feldes, oder durch Materie), wobei dies bei hohen Geschwindigkeiten logischerweise zur Emission sehr energiereicher Strahlung führt. Auf diese Weise werden Röntgenstrahlen z.B. zur medizinischen Diagnostik erzeugt. Man beschleunigt in einer Vakuumröhre Elektronen und lässt sie auf ein schweres Element treffen. Die Bewegungsenergie der Elektronen wird in potentielle Energie von Elektronen der Atomhülle umgewandelt und diese dann beim Zurückfallen der Elektronen auf ihre ursprünglichen Energieniveaus in Röntgenstrahlung umgewandelt.[2] Je größer die Bewegungsenergie der Elektronen, also je schneller die Elektronen, desto größere Energieunterschiede zwischen den Orbitalen können überwunden werden und desto mehr Energie wird somit für die Röntgenstrahlung verfügbar und diese somit kurzwelliger. Die Geschwindigkeit der Elektronen ist direkt proportional zur Spannung mit der sie beschleunigt werden. Je höher die Spannung, desto höher die Elektronengeschwindigkeit. Daher wird die Stärke der Röntgenstrahlung am Gerät über die verwendete Spannung eingestellt. Ebenso steigt mit der Spannung auch die Intensität der Strahlung, was zunächst verwundern mag, da ja nicht mehr Elektronen auf das Target treffen. Doch die Elektronen dringen mit wachsender Geschwindigkeit tiefer in das Material des Targets ein und regen damit mehr Atome, bzw. deren Hüllenelektronen an Röntgenstrahlung auszusenden. Mit der Spannung wächst somit die Frequenz, also Energie der Röntgenstrahlung wie auch deren Intensität. Die "Umwandlung" von Strahlung kurzer Wellenlänge in Strahlung längerer Wellenlänge können wir in unserem Leben täglich beobachten. Ich nehme hier nur mal das Beispiel der Sonneneinstrahlung. Die Sonne sendet ihre meiste Energie in Form kurzwelliger Strahlung aus. Diese trifft jetzt z.B. auf dem Boden unseres Planeten auf. Die Elektronen nehmen kurzfristig höhere Bahnen ein, um ihre Energie dann wieder in langwelligerer Wärmestrahlung abzugeben (die Energie wird also schrittweise abgegeben). Die Wellenlänge von Wärmestrahlung, bzw. Infrarotstrahlung ist zu lang um gesehen werden zu können. Dass sie existiert ist durch ein kleines Experiment leicht herauszufinden. Man braucht eine Wärmequelle, ein Feuer zum Beispiel oder auch eine Glühbirne. Hält man seine Hand in die Nähe spürt man die Wärme. Hält dann jedoch in gerader Linie von Hand zu Wärmequelle jemand anderes seine Hand zwischen Wärmequelle und die eigene Hand, so spürt man sofort ein Absinken der Temperatur auf der eigenen Hand. Die Infrarotstrahlung wird durch die Hand des anderen aufgehalten. Dasselbe gilt für die Sonnenstrahlung. Erfahrungsgemäß ist es im Schatten kühler als auf freier Fläche. Dabei wird jedoch nicht nur Wärmestrahlung übertragen die das Wärmegefühl erzeugt, sondern auch viel Strahlung sehr vieler verschiedenen Wellenlängen. Beim Feuer ist der Anteil der Infrarotstrahlung, bedingt durch seine niedrigere Temperatur, größer als bei der Sonne. Hier gibt es eine analoge Verteilung der Wellenlängen wie bei der Geschwindigkeit der Teilchen in Abhängigkeit zur Temperatur.

Nach dem Prinzip der gezielten Anregung von Atomen basiert auch der Laser. Den Atomen wird Energie zugeführt, Strahlung wird freigesetzt. Wobei der Laser noch ein Sonderfall ist. Trifft ein Photon auf ein bereits angeregtes Atom so werden zwei Photonen freigesetzt, oder anders gesagt: Das emittierte Licht wird verstärkt. Daher auch der Name Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (= Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung).

## **Anwendung: Bildröhre**

Die Emission von Licht kann man bei jedem Fernsehgerät bemerken. Die Bildfläche ist mit bestimmten Stoffen besetzt. Diese werden durch einen Elektronenstrahl, der von einer Hochspannungsquelle emittiert wird, angeregt (d.h. auf ein höheres Energieniveau gehoben). Die Elektronen dieses Stoffes fallen danach blitzschnell wieder auf eine vergleichbar hohe Bahn wie zuvor und geben dabei ihre Energie in Form von sichtbarem Licht ab, wobei auch, bedingt durch die hohen Energien die die Elektronen durch die Hochspannungsbeschleunigung erhalten wird u.a.

auch eine gewisse Menge Röntgenstrahlung emittiert wird (wie oben beschrieben; die Bildröhre ist nichts anderes als eine Vakuumröhre mit einer Elektronenquelle und einem elektrischen Feld zur Beschleunigung derselben), welche jedoch hinreichend abgeschirmt wird um keinen Schaden anrichten zu können. Das entstehende Bild ist in gewisser Weise eine Illusion, es leuchtet immer nur ein Bildpunkt im selben Moment, jedoch bewegt sich der Elektronenstrahl so schnell über das Bild, daß wir diese zeitlichen Unterschiede nicht mehr wahrnehmen können und wir ein komplettes Bild sehen. Flimmert das Bild, so bewegt sich der Elektronenstrahl für unsere Wahrnehmung zu langsam, was besonders auffällig ist bei einem stehenden Bild wie es bei Computermonitoren gebraucht wird. Verschiedene Farben rühren von verschiedenen Leuchtstoffen her, also Stoffen, bei denen der eine Stoff bei der Energie X rotes Licht emittieren, der andere grünes und der letzte wiederum blaues Licht.

## Farbphotographien

Mit diesen drei Farben können alle weiteren Farben dargestellt werden. Nach diesem Prinzip können auch Farbphotographien hergestellt werden. Dies wurde zum ersten Mal im Jahre 1861 von Maxwell gezeigt. Er photographierte ein Stück karierten Stoffes jeweils einmal mit einem Rotfilter, einem Grünfilter, einem Blaufilter. Er hatte also drei Photographien in Schwarz/Weiß. Der Farbfilter lässt, wie der Name schon ahnen lässt, jeweils nur diese eine Farbe passieren. Das Licht dieser Wellenlänge (anderes kommt ja nicht durch) reagiert nun mit der Chemikalie auf der Photoplatte, so daß z.B. alle rotfarbigen Stellen des Bildes festgehalten werden. Nun nahm Maxwell alle drei Bilder und projizierte sie auf eine Leinwand. In den Projektoren befand sich auch der dem Bild entsprechende Farbfilter, also bekam er ein rotes, ein blaues und ein grünes Bild. Nun überlagerte er diese Projektionen, so daß sie genau übereinanderpassten und dem beeindruckten Publikum konnte die erste Farbphotographie der Geschichte präsentiert werden.

## Ionisation

Die Elektronen können durch Zuführung von ausreichend Energie vom Atom abgespalten werden, so daß der Stoff ionisiert wird. Auch wenn ein Atom ein weiteres Elektron aufnimmt und damit negativ geladen ist spricht man von einer Ionisierung. Positiv geladene Ionen nennt man Kationen, negativ geladene Ionen Anionen.

## Isotop

Die Ordnungszahl eines Elementes gibt die Protonenzahl und damit die Elektronenzahl eines Atoms dieses Stoffes an.

Die Neutronenzahl ergibt sich wenn man die Ordnungszahl von der Atommasse subtrahiert.

Von fast allen Elementen gibt es in der Natur Atome mit verschiedenen Neutronenzahlen, daher spricht man von Isotopen, also Atomen derselben Art mit unterschiedlicher Neutronenzahl, was sich zum Einen am Gewicht feststellen lässt, zum anderen aber auch an anderen Eigenschaften. So gibt es radioaktiven Kohlenstoff ( $C_{14}$ , 6 Protonen, 8 Neutronen) und stabilen ( $C_{12}$ , 6p<sup>+</sup> und 6n<sup>0</sup>).

Am bekanntesten dürften wohl Deutrium und Tritium als Isotope des Wasserstoffs sein. Der in der Natur am häufigsten vorkommender Wasserstoff besitzt keine Neutronen, Deutrium ein und Tritium zwei Neutronen. Deutrium kommt ebenfalls noch in sehr großen Mengen in der Natur vor, Tritium hingegen muß künstlich, z.B. durch Neutronenbeschuß von Lithium hergestellt werden.

Da durch die zusätzlichen Neutronen die Atommasse erhöht wird, spricht man auch von schwerem bzw. überschwerem Wasserstoff.

Jedes Atom hat eine Eigenbewegung (nach ihrem Entdecker, dem englischen Botaniker Robert Brown (1773 - 1858), **Brownsche Molekularbewegung** genannt), welche in Feststoffen eine

Schwingung ist, die je nach Aggregatzustand des Stoffes bzw. dem Energieniveau bei hohen Temperaturen (viel Energie) stärker ist und bei extrem niedrigen Temperaturen (sehr wenig Energie) fast nicht mehr vorhanden ist. Bei 0 Kelvin, also wenn absolut keine Energie mehr vorhanden ist findet keine Bewegung mehr statt. Dieser Punkt ist jedoch nicht erreichbar. Diesen Effekt macht man sich bei der Leitung von elektrischem Strom zunutze. Bei hohen Temperaturen schwingen die Atome eines leitfähigen Drahtes sehr stark, wodurch die Elektronen blockiert und verlangsamt werden oder sogar je nach Stoff ab einer bestimmten Temperatur vollständig blockiert werden, also kein Strom mehr fließt.

Kehrt man diesen Effekt nun um und kühlt den Draht bis fast zum absoluten Nullpunkt so werden die Elektronen nicht mehr blockiert bzw. der Draht hat keinen elektrischen Widerstand mehr. Doch werden Metalle schon bei Temperaturen über 0 K zu Supraleitern. Dies lässt sich mit der BCS-Theorie, der Bardeen-Cooper-Schrieffer-Theorie erklären. Nach dieser Theorie ziehen sich Elektronen in Supraleitern gegenseitig an, so dass sich Elektronenpaare, sogenannte Cooper-Paare bilden. Dies erscheint paradox, da sich gleichnamige Ladungen abstoßen. Tatsächlich wird das zweite Elektron auch nicht direkt vom ersten Elektron angezogen, vielmehr erzeugt das erste Elektron eine Welle im Festkörper durch den es sich bewegt. Es zieht die Metallionen an, wenn es an ihnen vorbei wandert. Dies verharren einen Moment in dieser Position, in der sie anderen Metallionen näher sind. Dadurch entsteht in diesem Bereich eine größere positive Ladung, die ein weiteres Elektron anzieht. Das zweite Elektron folgt dem ersten also im elektrostatischen Kielwasser und bildet mit diesem somit ein Cooperpaar. Daraus wird auch schnell ersichtlich, warum Metalle nur bei sehr niedrigen Temperaturen supraleitend werden: Bei höheren Temperaturen schwingen die Metallionen im Festkörper, so dass sie nicht hinreichend lange in der vom ersten Elektron verursachten Position in der sie eine höhere positive Ladung besitzen verbleiben und somit das zweite Elektron nicht angezogen wird. Das Kielwasser wird sozusagen durch die stürmische See gleich wieder verwirbelt.

Um nun zu verstehen wie die Supraleitung zu Stande kommt müssen wir eine kurze Exkursion zum Bändermodell unternehmen.

Verbinden sich zwei Atome zu einem Molekül, so entsteht ein bindendes Molekülorbital und ein antibindendes Molekülorbital aus den beiden Atomorbitalen. Das bindende Orbital enthält die Elektronen der beiden Atome die an der Bindung beteiligt sind. Es hat eine niedrigere Energie als das antibindende Molekülorbital und, sofern die Atome freiwillig miteinander reagiert haben, also Energie freisetzen bei ihrer Reaktion (z.B. Kohlenstoff und Sauerstoff), so liegt das bindende Molekülorbital auch energetisch unter den Atomorbitalen aus denen sich das Molekülorbital gebildet hat. Dies ist eine etwas vereinfachende Darstellung, aber sie reicht für unsere Zwecke aus. Nun könnte man sich vorstellen, dass es sich um zwei Kupferatome handelt. In einem Kupferdraht sind jedoch unzählige Kupferatome die miteinander verbunden sind. Kommt ein weiteres Kupferatom zu unserem Kupfermolekül hinzu, so bindet es mit einem der beiden. Die bindenden und antibindenden Molekülorbitale nehmen jedoch eine geringfügig andere Energie an als die der beiden ersten Kupferatome, denn die Elektronen in diesen Molekülorbitalen müssen sich untereinander in ihren Energieniveaus unterscheiden. Nun kommen unzählige viele andere Kupferatome hinzu. So haben wir unzählige Molekülorbitale, die energetisch alle dicht beieinander liegen. Diese kann man zu einem Band zusammenfassen. Das untere Band, also das der bindenden Molekülorbitale bildet das Valenzband, das Band der antibindenden Molekülorbitale bilden das Leitungsband. Bei elektrischen Leitern sind sich diese Bänder energetisch sehr nahe oder überschneiden sich sogar. Somit können Elektronen bei normalen Temperaturen aus dem Valenzband in das Leitungsband wechseln und sich in diesen frei durch den Festkörper bewegen und Ladung transportieren. Bei Halbleitern ist die energetische Lücke zwischen Valenz- und Leitungsband größer. Hier braucht es mehr Energie um Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband zu befördern. Daher leiten Halbleiter besser wenn man sie erhitzt, im Gegensatz zu normalen Leitern. Bei Isolatoren ist die Lücke zwischen den Bändern schließlich so groß, daß so gut wie keine Elektronen mehr in das Leitungsband gelangen können und somit Ladung nicht transportiert werden kann.

Das was dieses Band erzeugt, also die unterschiedlichen Energien der Molekülorbitale, ist eine grundlegende Eigenschaft von Fermionen, zu denen die Elektronen zählen. Zwei Fermionen dürfen niemals den gleichen quantenmechanischen Zustand einnehmen. Cooper-Paare jedoch sind Bosonen. Für diese gilt dieses Gesetz nicht. Daher schrumpft das Band zu einer Geraden. Alle Elektronen befinden sich auf demselben energetischen Niveau. Dabei wird natürlich das Niveau der niedrigsten Energie besetzt. Das nächsthöhere Niveau ist energetisch recht weit entfernt. So weit, dass der Zusammenstoß eines Cooper-Paars mit einem Metallion des Festkörpers nicht genügend Energie liefern kann um dieses zu erreichen. Es bleibt somit zwangsläufig auf einem Energieniveau. Somit können die Elektronen nicht gestreut werden (denn dies setzt zwangsläufig eine Änderung der Energie der Elektronen voraus) und sich ohne Widerstand durch den Festkörper bewegen. Es ist wieder einmal die Quantelung der Energie die hier den wesentlichen Teil der Erklärung liefert: Wird nicht genügend Energie zugeführt passiert nichts. Da dies unserer Erfahrung widerspricht ist es etwas schwer zu verstehen.

Dieses Modell funktioniert als Erklärung jedoch nur bis zu einer Temperatur von etwa 30 K. Bei höheren Temperaturen versagt es. Wie Supraleitung in den keramischen Hochtemperatursupraleitern funktioniert ist noch nicht verstanden.

Natürlich war und ist man weiterhin bemüht Supraleiter herzustellen, die auch bei höheren Temperaturen funktionieren, da die Kühlung des Leiters die ganze Sache wieder ineffizient werden lässt, man also mehr Energie aufwenden muß als durch die Supraleitung gespart werden kann.

Bisher liegt die Grenze bei etwa 133 Kelvin, also  $-140,15\text{ °C}$ , wobei man eine spezielle Keramik, das  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$  verwendet. Ein weiterer, sehr bekannter Supraleiter ist das Yttrium-Barium-Kupferoxid  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , dessen Sprungtemperatur, also die Temperatur ab der das Material supraleitend wird bei 93 K, also  $-180,15\text{ °C}$  liegt. Flüssiger Stickstoff siedet bei 77,35 K, also  $-195,15\text{ °C}$ . Somit muß bei diesen Supraleitern kein flüssiges Helium mehr verwendet werden, sondern es reicht relativ billiger, und einfach darzustellender flüssiger Stickstoff zur Kühlung. Supraleiter finden vor allem in NMR-Geräten, wie zum Beispiel den in der Medizin eingesetzten Kernspintomographen Anwendung.

## Antimaterie

Jedes Elementarteilchen besitzt ein Antiteilchen (Ausnahme ist u.a. das Photon). Das Antiteilchen unterscheidet sich von der normalen Materie lediglich in der entgegengesetzten Ladung. Es kann demnach prinzipiell auch Antikohlenstoff, bzw. ganze Sterne aus Antimaterie geben, sofern keine "normale" Materie in dessen Nähe ist.

Antielektronen nennt man Positronen und sind elektrisch positiv geladen, Antiprotonen sind dementsprechend elektrisch negativ geladen.

Trifft nun z.B. ein Positron mit einem Elektron zusammen, vernichten sie sich gegenseitig. Eine passende Analogie sind die Graphen der Sinus und der Cosinusfunktion. Der Graph Cosinusfunktion entspricht dem Graph der Sinusfunktion, welcher um eine halbe Wellenlänge verschoben wurde, so daß Wellentäler und Wellenberge übereinanderliegen und sich somit gegenseitig aufheben.

Dabei wird 100% der Masse in Energie umgewandelt werden (Bei der Kernspaltung und Fusion sind es nur etwa 1%). Die dabei entstehende Energie wird in Form eines energiereichen Photons frei (Zerstrahlung). Aus zwei Lichtquanten entsteht beim Zusammentreffen theoretisch wieder ein Elektron-Positron Pärchen (Paarbildung).

Hierbei bestätigt sich Einsteins Formel  $E = m \cdot c^2$ : Energie ist Materie, Materie ist Energie und wie die Formel zeigt nicht eben wenig:

$$E = 1,67262158 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (300\,000\,000 \text{ m/s})^2 = 1,505359422 \cdot 10^{-10} \text{ J.}$$

In einem ruhenden Proton sind somit etwa  $1,505359422 \cdot 10^{-10}$  Joule gespeichert. Das sieht nicht

nach viel aus, aber da wir wissen, daß ein Wasserstoffatom nur minimal schwerer ist als ein Proton, so schauen wir uns doch mal den Betrag für 1 Mol, bzw. in diesem Fall 1 g Wasserstoff an (1 mol Wasserstoff entspricht ca. einem Gramm Wasserstoff):

$$1,505359422 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 9,065274439 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Die Verbrennung von einem Kilogramm Kohle (unter Idealbedingungen; der tatsächliche Wert ist etwas niedriger) liefert etwa  $3,28633333 \cdot 10^7$  Joule, also gerade etwas mehr als ein Dreimillionstel(!) der Energie die man aus der Zerstrahlung von nur 1 g Protonen mit 1 g Antiwasserstoff erhalten könnte (exakter: es ist 2758476,9 mal so viel Energie in 1 g Materie enthalten als man durch die Verbrennung von 1000 g Kohle freisetzen kann). Folglich müsste man 2 758 476,9 kg Kohle verbrennen um dieselbe Energie freizusetzen. Bei einer Dichte von  $1,35 \text{ kg/m}^3$  bräuchte man 2 043 316,2 m<sup>3</sup> Steinkohle. Das entspricht einem Würfel von etwa 127 m Kantenlänge.

Antiprotonen können dank ihrer Ladung durch elektrische Felder von der normalen Materie isoliert und somit in begrenztem Maße unter Ultrahochvakuumbedingungen gespeichert werden.

## Die vier Urkräfte

Zwischen den Elementarteilchen wirken vier grundlegende Kräfte:

### 1. Die **Starke Quarkkraft** auch **Farbkraft** genannt:

Die Starke Kraft sorgt mittels Gluonen (Austauschteilchen, die sich zwischen den Quarks hin und her bewegen) für den Zusammenhalt der Quarks in den Protonen und Neutronen. Die Kernkraft, welche die Protonen und Neutronen zusammenhält ist keine Urkraft, sondern resultiert aus der Starke Kraft. Sie ist die stärkste der vier Grundkräfte, etwa zehnmal so stark wie die elektromagnetische Kraft. Die Starke Kraft hat nur eine sehr begrenzte Reichweite von etwa  $10^{-13}$  cm, ansonsten würde sie verhindern, daß sich Protonen auf größere Entfernungen hin abstoßen. Die Gesetze der starken Kraft werden in der Quantenchromodynamik (QCD) beschrieben.

### 2. Die **Elektromagnetische Kraft**

Die elektromagnetische Kraft tritt auf, wenn elektrische Ladungen im Spiel sind. Sie sorgt dafür, daß sich gleichnamige Teilchen abstoßen und Ungleichnamige anziehen. Sie wird von Photonen übertragen. Die Gesetze der elektromagnetischen Kraft werden in der Quantenelektrodynamik (QED) beschrieben.

### 3. Die **Schwache Kraft**

Auf die ersten beiden Kräfte reagieren nur elektrisch geladene oder "farbige" Teilchen. Teilchen, die diese Faktoren nicht besitzen, unterliegen wie alle Teilchen der Schwachen Kraft. Sie wirkt nur auf kurze Distanzen und wird durch Weakonen übertragen.

### 4. Die **Gravitation**

Die Gravitation sorgt dafür, daß sich alle Teilchen die eine Masse haben gegenseitig anziehen. Sie ist aber verglichen mit den anderen drei Urkräften so schwach, daß sie vernachlässigt werden kann. Sie wirkt aber auf sehr große Distanzen und ist daher fast nur in der Astronomie relevant. Man geht davon aus, daß auch die Gravitation von Teilchen, den sogenannten Gravitonen, übertragen wird. Das Graviton konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Die Gravitationskraft breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit im Raum aus. Einstein zufolge verändert, bzw. krümmt die Gravitation eines Objektes die Raumzeit in dessen Nähe. So werden bspw. Lichtstrahlen auf ihrem Weg um große Massen im Raum abgelenkt, so daß beispielsweise Sterne die sich hinter diesen schweren Körpern befinden und somit verdeckt werden müssten sichtbar werden. Einstein hat mit seiner Allgemeinen Relativitätstheorie die Existenz von Gravitationswellen vorausgesagt. Gravitationswellen sind winzige Veränderungen der Raumzeit, verursacht z.B. durch Supernovae, schwarze Löcher oder Neutronendoppelsternsysteme. Man versucht zur Zeit Gravitationswellen experimentell nachzuweisen, bislang gelang dies aber nur indirekt, da die Veränderungen so winzig sind, daß sie

so gut wie keinen Effekt hervorrufen.[3]

Das Ziel der Forschung besteht darin, diese vier Urkräfte auf eine einzige zurückzuführen, also den tatsächlichen Ursprung, das tatsächliche Phänomen hinter diesen zu entdecken. So konnten schon die ersten drei Kräfte in einer Theorie vereinigt werden. Nur die Gravitation bleibt trotz einigen vielversprechenden Ansätzen noch immer außen vor. Der wohl bekannteste Physiker der sich der Entdeckung der "Weltformel", bzw. der "Theory of everything" verschrieben hat ist Stephen Hawking. Über die Superstringtheorie versucht man eine geometrische Erklärung aller Kräfte und sie auf diesem Wege zu vereinigen. In dieser Theorie geht man von 10 (in manchen Variationen der Stringtheorie sogar von noch mehr) Raumdimensionen aus, wobei Kräfte lediglich Effekte der höheren Dimensionen auf unsere wahrnehmbaren drei Dimensionen sein sollen, also Veränderungen des Raums darstellen.(siehe Buchempfehlung: Hyperraum)

## Radioaktivität

Die Radioaktivität wurde von dem franz. Ehepaar Curie entdeckt.

Radioaktive Elemente sind Elemente mit instabilen Atomkernen, - Nuklide - die unter Abgabe von Teilchen und Energie in Form von Strahlung in andere Stoffe zerfallen bis ihr Kern stabil ist (genauer dazu unter "[Wasserstoffbombe](#)"). Der Zerfall eines Kerns kann nicht aufgehalten, verlangsamt oder gestoppt werden, jedoch kann er (z.B. durch Neutronenbeschuß) initiiert werden. Er erfolgt in einer bestimmten Zeit, die mit der Halbwertszeit angegeben wird also der Zeit in der die Hälfte der Atome zerfallen sind.

Es gibt verschiedene Strahlungsarten, hierbei ist zu unterscheiden zwischen Teilchenstrahlung und elektromagnetischer Strahlung:

**Alphastrahlung** besteht aus Heliumatomkernen. Ist also zweifach positiv geladen. Sie kann durch ein Blatt Papier aufgehalten werden.

**Betastrahlung** besteht aus Elektronen. Sie entsteht, wenn sich ein Neutron in ein Proton umwandelt, wodurch ein Elektron entsteht, welches dann sofort vom Kern fort geschleudert wird. Sie kann durch dünne Metallplatten aufgehalten werden.

**Neutronenstrahlung** wird von bestimmten radioaktiven Stoffen freigesetzt, kann aber wie die Gamma- und Röntgenstrahlung auch technisch erzeugt werden. Wie der Name schon sagt besteht die Strahlung aus schnellen Neutronen. Neutronenstrahlung kann durch starke Betonwände effektiv abgeschirmt werden.

**Gammastrahlung**, sowie **Röntgenstrahlung** bestehen aus Photonen, sind also elektromagnetische Wellen sehr kurzer Wellenlänge, sind also sehr energiereich und haben dabei eine sehr große Reichweite. Sie durchdringt und schädigt den menschlichen Körper auf schwerste Art. Gammastrahlung kann nur durch meterdicke Betonwände und Bleischichten einigermaßen abgeschirmt werden.

## Nuklearwaffen

Die Tatsache, daß beim Zerfall radioaktiver Stoffe Energie freigesetzt wird, machte man sich Anfang der vierziger Jahre zu nutze.

Im August 1942 wurde in den USA von Präsident Roosevelt das Manhattanprojekt gestartet, dessen Ziel die Entwicklung einer Superbombe war.

1938 hatten Otto Hahn und Lise Meitner, Uran mit Neutronen beschossen, um noch schwerere Elemente herzustellen. Lise Meitner musste noch während der Durchführung der Experimente aus Berlin fliehen, da sie als Jüdin im Deutschen Reich verfolgt wurde. Hahn führte seine Versuche mit Fritz Strassmann fort. Das Uran zerfiel zu Barium und man kam schließlich darauf, daß das Uran gespalten wurde. Der dänische Physiker Bohr brachte diese Informationen schließlich auf seiner

Flucht 1939 in die USA. Kurz darauf erfuhr man, daß das Deutsche Reich den Export von Uranerzen aus der Tschechoslowakei stoppte. Auf die Initiative Leo Szilards schrieb Einstein dann seinen berühmten Brief an Präsident Roosevelt in dem er diesen vor der Gefahr einer deutschen Atombombe warnte. Man beschloß eine eigene Atombombe zu bauen. Einstein war an dem Projekt weder beteiligt, noch wurde er überhaupt darüber in Kenntnis gesetzt. Unter der wissenschaftlichen Leitung von J. Robert Oppenheimer (1904-1967), arbeiteten nun tausende Experten, Physiker wie Fermi und Feynman, an der Entwicklung der Atombombe. Oppenheimer schlug auch den Ort Los Alamos in New Mexico vor. Die Oberleitung hatte das Militär, bzw. der General Leslie R. Groves, der sich schon beim Bau des Pentagons einen Namen gemacht hatte. Im Jahre 1945, genauer gesagt am 16. Juli wurde dann die erste Atombombe der Welt in New Mexico gezündet. Die Bombe hieß Trinity. Sie explodierte auf einem 30 Meter hohem Metallgerüst, welches in Sekundenbruchteilen verdampfte. Auch damals wusste man übrigens um die Gefahr des radioaktiven Niederschlags und natürlich auch um die Toxizität des Plutoniums. Oppenheimer soll im Moment der Explosion eine Zitate der Bhagavadgita zitiert haben: "Ich bin der Tod, der alles raubt, Erschütterer der Welten." [siehe [Buchempfehlungen](#)]

Es war eine **Plutoniumbombe**.

Plutonium entsteht, wenn Uran 238 (92 Protonen, 146 Neutronen) mit Neutronen beschossen wird, dabei nehmen die Uranatome je ein Neutron auf wodurch Plutonium 239 entsteht.

Aus diesem Plutonium wird eine Hohlkugel geformt die etwa eine Masse von 10 kg haben muß. Eine Vollkugel aus 10 kg Plutonium hätte nicht einmal einen Durchmesser von 10 cm. Rund um diese Kugel werden Sprengsätze angebracht. Wird die Bombe gezündet so explodieren die Sprengladungen wodurch die Plutoniumkugel verdichtet wird.

Ein Neutron trifft auf einen Plutoniumatomkern und spaltet diesen, wobei wieder neue Neutronen frei werden, die ihrerseits Kerne spalten. Dabei wird Energie freigesetzt. Durch die Kettenreaktion summiert sich diese Energie zu riesigen Beträgen. Diese Kettenreaktion geschieht in Bruchteilen von Sekunden. Plutonium emittiert sehr viel mehr Neutronen als Uran, so daß man keine Bombe des Kanontyps wie bei der Uranbombe mit Plutonium betreiben kann, ohne daß die Reaktion schon zu früh beginnt und nicht das gesamte Material gespalten wird.

[[Für Skizze und genauere Funktionsbeschreibung hier klicken.](#)]

Die **Uranbombe** funktioniert nach demselben Prinzip, nur daß hier zwei Blöcke angereichertes Uran 235 benutzt werden. Nur etwa 0,7% des Natururans ist Uran 235, das Natururan wird deshalb mit Fluor zu Uranhexafluorid umgesetzt und in einer schnell rotierenden Zentrifuge aufgetrennt, wobei sich das leichtere Uran 235 in der Mitte der Zentrifuge ansammelt, das schwerere Uran 238 entsprechend an der Wandung der Zentrifuge. Der Trennungsgrad ist nur sehr gering, daher muß mehrmals hintereinander weg zentrifugiert werden. Man leitet also aus der Mitte der Zentrifuge das  $^{235}\text{UF}_6$  in die nächste Zentrifuge und da beginnt dann alles erneut. Die Reaktion zu

Uranhexafluorid ist notwendig um ein Gas zu erhalten, denn ein Feststoff wäre nicht in einzelne Atome aufspaltbar und ebenso wenig entsprechend beweglich und dadurch mit einer Ultrazentrifuge nicht trennbar. Fluor wird benutzt, da es nur in einem Isotop vorkommt und somit die Auftrennung des Urans durch die unterschiedliche Massen der verschiedenen Isotope nicht behindert. Würde man z.B. Chlor verwenden würde ein  $^{235}\text{UCl}_6$ -Molekül je nach enthaltenen Chlorisotopen eine andere Masse haben als ein anderes  $^{235}\text{UCl}_6$ .

Uranhexafluorid ist ein sehr korrosives Gas und zerstört in kurzer Zeit die Leitungen in denen es transportiert wird. Diese werden daher mit Teflon beschichtet, welches damit sein erstes Anwendungsgebiet fand.

Diese Blöcke treffen durch Sprengladungen zusammen und eine Kettenreaktion findet statt. Die Explosionsfähige Masse, also die kritische Masse, liegt offiziell bei etwa 15 kg, wahrscheinlich ist sie niedriger. Die Temperaturen, die bei der Zündung einer mittelgroßen Atombombe entstehen, haben eine Temperatur von über 30 Mio. Grad Celsius.

[[Für Skizze und genauere Funktionsbeschreibung hier klicken.](#)]

Da man noch größere Sprengkraft besitzen wollte, aber ab einer bestimmten Masse Uran oder Plutonium eine Explosion stattfindet bevor sämtliches Material gespalten war, suchte man nach einem neuen Prinzip:

Der **Wasserstoffbombe** (auch Fusionsbombe genannt).

Ab Temperaturen von einigen Millionen °C haben Wasserstoffatome ihre Elektronen verloren, diesen Zustand der Materie nennt man Plasma. Dabei kommen sich die Kerne so nahe, daß die elektromagnetische Kraft durch die starke Kraft überflügelt wird, so daß sie zu Heliumatomkernen verschmelzen. Dabei ist messbar, daß das entstandene Helium eine geringere Masse besitzt als das Ausgangsmaterial, also die Protonen und Neutronen. Daher muß die fehlende Masse in Form von Energie freigesetzt worden sein. Durch Kernfusion kann bis zur Erzeugung von Eisen Energie gewonnen werden, danach verhält es sich andersherum: Für die Fusion von schweren Kernen muß Energie aufgebracht werden, bei der Spaltung von schweren Kernen wiederum wird Energie freigesetzt.[5] Das ist nebenbei bemerkt auch der Prozeß der den Kollaps eines Sternes auslöst. Warum grade Eisen? Eisen ist der Stoff mit der höchsten Kernbindungsenergie. Die Kernbindungsenergie gibt an wieviel Energie benötigt wird um die Nukleonen eines Kerns zu trennen, bzw. welche freigesetzt wird wenn aus Nukleonen ein Kern gebildet wird (also je höher die Kernbindungsenergie, desto stabiler der Kern). Also je stabiler ein Kern ist, bzw. je weniger Energie/Masse die einzelnen Nukleonen, aus denen der Kern zusammengesetzt ist, besitzen, desto mehr Energie muß aufgebracht werden ihn in seine Nukleonen aufzuspalten. Also ist der Eisenkern der energieärmste, der leichteste Kern, gemessen an den Massen seiner Nukleonen. Daher ist es einleuchtend, daß wenn Eisen die höchste Kernbindungsenergie hat, bei allen leichteren Kernen Energie durch Fusion freigesetzt wird (Masseverlust zum Eisen hin), während dies bei allen schwereren Kernen durch Kernspaltung (Masseverlust zum Eisen hin) (theoretisch) der Fall ist. Pro kg der so gebildeten Heliumatome wird so viel Energie frei, wie bei der Verbrennung von 20 Mio. t Kohle. Da solche Temperaturen nicht über längere Zeiträume erzeugt werden konnten, nutzte man die Isotope Deuterium und Tritium, die nur für Sekundenbruchteile diese Temperaturen benötigen. Nun war das Problem, daß eine Temperatur von -240 °C nötig ist um Wasserstoff zu verflüssigen und damit nutzbar zu machen. Es wurden also riesige Kühlanlagen benötigt, wodurch die Waffe nicht transportfähig war. Man löste es indem man Deuterium mit Lithium zu Lithiumdeutrid verband (ein kristallines Pulver). Lithiumdeutridatome werden von Neutronen in Deuteriumatomkerne und Tritiumatomkerne aufgespalten. Die Tritiumatomkerne verschmelzen gleich wieder mit den Deuteriumatomkernen zu einem Heliumisotop wobei ein Neutron freigesetzt wird.

Um die Temperaturen, die zur Fusion nötig sind zu erzeugen, wird eine Wasserstoffbombe mit einer Atombombe gezündet.

Die Energie die bei der Fusion freigesetzt wird, ist pro Verschmelzung zehnmal geringer als bei der Spaltung eines Urankerns, da aber ein Uranatom 100 mal größer als ein H-Atom ist, ist die Energie die gewonnen wird 10 mal größer. Das heißt, man gewinnt aus 1 kg Wasserstoff soviel Energie wie aus 10 kg Uran.

Die größte Wasserstoffbombe, die Zar-Bombe wurde Anfang der 60er Jahre in der Sowjetunion gezündet. Sie hatte eine Sprengkraft von 60 000 000 (60 Mio.) t [TNT \(Trinitrotoluol\)](#). Zum Vergleich: die Hiroschimabombe hatte eine Sprengkraft von 13 000 t TNT. Die Zar-Bombe wurde in einer Höhe von etwa 4000 m gezündet. Der Feuerball berührte dennoch den Boden. Für einen tatsächlichen Einsatz im Kriegsfall ist die Bombe jedoch viel zu schwer gewesen.

[[Für Skizze und genauere Funktionsbeschreibung hier klicken.](#)]

### **Neutronenbombe:**

In den siebziger Jahren entwickelt, richtet sie nur geringe Schäden an Gebäuden an, vernichtet aber alles Leben in großem Umkreis durch intensive Strahlung.

Wenn z.B. Neutronen in den Körper eindringen, werden die Atomkerne von Wasserstoffatomen herausgerammt. Da der menschliche Körper zum größten Teil aus Wasser besteht, wirkt sich dieses besonders stark aus.

Dadurch entstehen neue chemische Reaktionen, die ab einer bestimmten Intensität den Organismus

durcheinanderbringen und schließlich töten.

Mit der Neutronenbombe wollte man eine kleine, dosierte Atomwaffe schaffen. Dabei bestand das Problem, das für eine explosive Kettenreaktion eine kritische Masse vorhanden sein muß, was wiederum eine bestimmte, den Militärs zu große Explosionskraft, bedingt. Das Problem wurde gelöst, indem man die Dichte des Spaltstoffes extrem erhöhte und damit die kritische Masse herabsetzte. Dies erreicht man, indem man keilförmige Sprengsätze (TNT) um eine Kugel des Spaltstoffes anordnet und diese absolut simultan explodieren lässt, um den Explosionsdruck möglichst präzise auf die Kugel zu lenken. Simultan heißt, daß alle Sprengsätze innerhalb einer Millionstel Sekunde zünden. Dies ist technisch äußerst aufwendig und macht die Herstellung von kleinen Nuklearwaffen nur den am weitesten entwickelten Ländern möglich. Das Resultat dieser Technik ist, daß man nur noch wenige hundert Gramm des Spaltstoffes benötigt, um eine Kettenreaktion hervorzurufen. Da man aber bei der Neutronenbombe hauptsächlich die Neutronenstrahlung nutzen möchte, umhüllt man die Spaltstoffkugel noch mit einem Stoff, der sich Lithium-Deuterit nennt. Also gewöhnliches Lithiumhydrid, bei dem der Wasserstoff durch Deuterium ersetzt wurde. LiH wird für gewöhnlich als Hydriermittel in der organischen Chemie benutzt. Dadurch erhält man eine Fusionsbombe, bei der die Ausstrahlung von Neutronen weitaus höher als bei einer reinen Spaltwaffe ist. Eine reine Fusionsbombe wäre dabei natürlich das Ideal, da hierbei auch die langanhaltende radioaktive Verseuchung des Einsatzortes verhindert werden könnte, doch diese Technik konnte bisher noch nicht entwickelt werden, wobei dies den Vorteil mit sich bringen dürfte, daß diese Waffen von vernünftig denkenden Menschen nicht eingesetzt werden. [6]

[Für Skizze und genauere Funktionsbeschreibung hier klicken.]

### **EMP: Elektromagnetischer Impuls**

Bei der Explosion einer Nuklearwaffe entsteht sehr viel, sehr energiereiche Strahlung. Diese Strahlung ionisiert die Luft um den Explosionsort, wodurch ein starkes, elektromagnetisches Feld entsteht. Dieses Feld induziert nun in alle leitenden Stoffe einen sehr starken Strom, so daß kleinere Strukturen, wie man sie in der Elektronik verwendet schlicht durch die Hitze zerstört werden (Datenträger werden gelöscht, Chips gehen kaputt, sofern sie nicht abgeschirmt sind) und bei größeren Strukturen (das normale Stromnetz bspw.) knallt, salopp gesagt, die Sicherung raus, oder die Endgeräte gehen kaputt (Überspannung). In jedes Objekt, welches aus Metall oder Graphit besteht wird in einem gewissen Umkreis ein Strom induziert, also auch in Flugzeuge, Autos und so weiter. Ebenso funktionieren weder Radar noch Radio/Funk für eine gewisse Zeit, weil diese Wellen durch den ionisierten Bereich der Atmosphäre abgeblockt wird (ein Blitz ionisiert durch seine Hitze ebenfalls die Luft um ihn herum, daher ist der Empfang von Radiosignalen bei einem schweren Gewitter auch gestört).

Mehr zu Nuklearwaffen:[8]

### **Energieerzeugung**

Seit mehr als vierzig Jahren wird mit der Kernspaltung elektrische Energie gewonnen. Das Prinzip ist das gleiche wie bei der Atombombe.

Uran 235 wird gespalten und erzeugt dabei Energie. Im Kraftwerk läuft dieser Vorgang kontrolliert ab, so daß man sich zwischen einer unkontrollierten Kettenreaktion und dem Erliegen der Reaktion befindet.

Das wird erreicht, indem man schwach angereichertes Uran benutzt. Es besteht nur zu etwa 3% aus Uran 235, der Rest ist Uran 238 welches nicht spaltbar ist (unter extremen Bedingungen kann auch Uran 238 durch stark beschleunigte Neutronen gespalten werden, die aber nur direkt bei der Explosion eines Thermonuklearen Sprengsatzes auftreten).

In einem großem Kraftwerk kommen etwa 3000 kg Uran 235 auf 100 000 kg Uran 238.

Auf jedes Uran 235 Atom kommen also 30 Uran 238 Atome.

Da die Neutronen nun aber immer seltener auf ein Uran 235 Atom treffen sondern meist auf die

Uran 238 Atome werden sie abgebremst und bei einer bestimmten Geschwindigkeit (ca. 4000 km/s) werden sie von den Uran 238 Atomen eingefangen und verbinden sich mit ihnen zu Plutonium. Die Reaktion würde also an Mangel von Neutronen zum Erliegen kommen.

Werden nun aber die Neutronen extrem verlangsamt, (2 km/s) werden sie nur noch sehr selten von den Atomkernen eingefangen, da nicht mehr genügend Energie für eine Verbindung besteht. Sie prallen von den Uran 238 Atomen ab. Diese Abbremsung erreicht man mit Wasser.

Wenn ein Neutron etwa 18 mal auf einen Wasserstoffatomkern gestoßen ist wird es auf die erforderliche Geschwindigkeit von 2 km/s abgebremst (Wasser besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom). Doch auch die normalen Wasserstoffatome fangen Neutronen öfters ein. Das Wasserstoffisotop Deuterium (1 Proton, 1 Neutron) hat diese Eigenschaft nicht.

Man nutzt also sogenanntes "schweres Wasser" das aus Deuterium und Sauerstoff besteht ( $D_2O$ ). Die Produktion von schwerem Wasser ist aber sehr teuer, da es nur äußerst selten in der Natur vorkommt. In einem Reaktor mit schwerem Wasser als Moderator, (Bremsmittel) kann man mit nicht angereicherten Natururan betreiben, da genug Neutronen zur Spaltung der Uran 235 Atomkerne übrigbleiben.

Reaktoren die mit schwerem Wasser betrieben werden nennt man Schwerwasserreaktoren.

Reaktoren die mit teurem angereicherten Uran und mit billigem normalen Wasser als Moderator betrieben werden, nennt man Leichtwasserreaktoren.

Von der Kostenverursachung liegen beide also etwa gleich auf.

Es gibt auch Reaktoren die Kohlenstoff (Graphit) als Moderator nutzen, sie können ebenfalls mit Natururan betrieben werden, benötigen aber ein spezielles Kühlmittel da die Hitze sonst den Reaktorblock schmelzen könnte.

Im Reaktor wird das Uran in kleine Portionen aufgeteilt, die dann in dünnwandigen Metallstäben aus einer Speziallegierung den Brennstäben gestapelt werden.

Ein Brennstab ist etwa 4 m lang und hat einen Durchmesser von 1 cm.

Sie sind bis zu einer Höhe von 3,90 m mit Uranportionen (pellets) gefüllt.

236 Brennstäbe werden in einer quadratischen Form von 23x23cm zu einem Brennelement zusammengefügt. Insgesamt 193 dieser Brennelemente sind in einem Reaktor hinter und nebeneinander aufgestellt und befinden sich vollkommen unter Wasser verpackt in einem Reaktordruckgefäß, einem dickwandigen Metallbehälter.

Steigt die Neutronenkonzentration auf zu hohe Werte, werden Reglerstäbe zwischen die Brennstäbe geschoben. Sie bestehen aus Cadmium einem Weichmetall, welches Neutronen gut einfangen kann. Die Stäbe sind fingerdick und ebenfalls 4 m lang. Werden sie ganz eingefahren, kommt die Kettenreaktion zum Erliegen. Mit ihnen wird die Intensität der Reaktion, also die Temperatur reguliert. Das System ist so konstruiert, daß die Reglerstäbe bei einem System-, bzw. Stromausfall komplett herunterfahren (eigentlich fallen sie, da sie von einem im Stromkreis integrierten Elektromagneten gehalten werden) in und die Reaktion zum Stillstand kommt.

Eine unkontrollierte Kettenreaktion kann in einem Reaktor, welcher Wasser als Moderator benutzt nicht zustandekommen. Steigt die Reaktion zu stark an verdampft das Wasser komplett, also der Moderator. Neutronen werden nicht mehr abgebremst, die Reaktion kommt zum Erliegen.

Reaktoren, welche Graphit als Moderator benutzen sind in dieser Hinsicht weitaus gefährlicher. Dieser Reaktortyp kommt fast nur in Osteuropa und Rußland vor.

Das Wasser, das sich im Reaktordruckbehälter befindet, geht durch die freigesetzte Energie der Kernspaltungen zum Teil in den gasförmigen Zustand über.

In einem geschlossenen Kreislauf treibt der Dampf Turbinen an, die ihrerseits Generatoren zur Stromerzeugung antreiben. Der Dampf wird durch einen Kühlkreislauf geschickt und wieder zu flüssigem Wasser, welches wieder in den Druckbehälter fließt. Der Kreislauf ist also geschlossen.

### **Wirkungsgrad**

In einem Atomkraftwerk wird elektrischer Strom wie in jedem Verbrennungskraftwerk erzeugt: Man erhitzt Wasser und erzeugt auf diese Weise Dampf. Der Dampf treibt eine Turbine an, welche wiederum einen Generator in Bewegung setzt der nach dem Prinzip der magnetischen Induktion

Ladungen aufteilt und somit einen elektrischen Strom ermöglicht.

Die meiste Energie des Dampfes geht bei der Kühlung verloren, so daß der Wirkungsgrad eines Kernkraftwerkes um die 40% liegt. Mit einigen Verbesserungen, zum Beispiel der mehrfachen Nutzung der Wärme kann man den Wirkungsgrad auf gut 50% erhöhen.

### **Radioaktiver Abfall**

Das größte Problem bei dieser Art der Energieerzeugung ist aber der radioaktive Abfall, der in keinsten Weise sicher für tausende von Jahren gelagert werden kann.

Vor allem das verstrahlte Wasser bereitet aufgrund der größeren Mengen Probleme.

Für dieses Problem gibt es aber vielleicht schon eine Erleichterung. Mithilfe eines Teilchenbeschleunigers will man Protonen auf einen bestimmten Stoff schießen um aus diesem Neutronen herauszuschlagen. Diese Neutronen treffen dann auf das zu spaltende radioaktive Material und erhöhen somit die Anzahl der Kernspaltungen in der Zeit, wodurch der radioaktive Stoff schneller vernichtet werden kann. Auf diese Weise will man die Menge der langlebigen radioaktiven Materialien drastisch verringern (99% sollen bei dem Prozeß vernichtet werden), so daß die Abfälle nicht mehr für Jahrtausende sondern "lediglich" für ein paar Jahrhunderte sicher gelagert werden müssten, bis sie nicht stärker strahlen als Umgebungsstoffe. Eine sichere Lagerung über ein paar Jahrhunderte kann eher gewährleistet werden als eine sichere Lagerung über Jahrtausende, welche kaum gewährleistet werden kann.

Die radioaktive Belastung in der Umgebung des Reaktors ist nur leicht erhöht, da der gesamte Reaktorkern von meterdicken Beton- und Metallwänden umgeben ist, die fast sämtliche (ca. 98%) Strahlung abschirmt. Es ist tatsächlich so, daß durch ein Kohlekraftwerk mehr Radioaktivität freigesetzt wird (und andere Giftstoffe), da in der Kohle radioaktive Stoffe in sehr geringen Mengen vorkommen, als in der Umgebung der meisten Kernkraftwerke.

### **Schneller Brüter**

Dieser Reaktortyp benutzt statt des raren Uran 235, Uran 238 und Plutonium 239. Das spaltbare Plutonium wird dabei in der Mitte des Brennstabes positioniert, drumherum wird Uran 238 positioniert. Trifft nun ein Neutron auf ein Plutoniumatom so wird dieses gespalten und setzt wiederum Neutronen frei, welche wiederum andere Plutoniumatome spalten, also eine normale Kettenreaktion. Das besondere ist aber, daß durch die freiwerdenden Neutronen das Uran 238 zu Plutonium 239 und somit spaltbarem Material umgewandelt wird. Der große Vorteil dieser Technik ist, daß Uran 238 das häufigste Uranisotop in der Natur ist, und somit weit größere Mengen verfügbar sind, außerdem entfällt die aufwendige und teure Anreicherung des Urans.

### **Kernfusion**

Seit Jahrzehnten wird versucht Energie aus der Fusion von Wasserstoffatomkernen zu Helium zu gewinnen. Die Wasserstoffbombe basiert auf diesem Prinzip, erzeugt aber wie die Atombombe gigantische Energiemengen für nur wenige Sekunden. Da die Fusion über längere Zeit ablaufen muß um zivil nutzbar zu sein und erst bei extremen Temperaturen stattfindet, steht man vor großen Problemen bei dem Versuch diese Technik zur Energieerzeugung zu nutzen. Es wurden bereits kleinere Versuchsreaktoren gebaut. Der Wasserstoff kann nur im Zustand des Plasmas fusionieren, da nur bei extrem hohen Temperaturen die Protonen ausreichend dicht zusammengebracht werden können, so daß die Quarkkraft die elektromagnetische Kraft überwindet.

Da aber sämtlich uns bekannte Materie, die mit Plasma in Kontakt kommt, sofort schmelzen würde, wird es mit Hilfe starker Magnetfelder, die durch riesige Spulen erzeugt werden, in deren Innern, in der Mitte der Spulen gehalten. Diese sind in einem Kreis angeordnet. Dieses Prinzip nennt man das Tokamak-Prinzip. Bei einem ähnlichen Prinzip, dem Stellarator-Prinzip, sind die Spulen wirt verschlungen. Dadurch soll erreicht werden, daß die Reaktion über einen längeren Zeitraum betrieben werden kann. Diese Techniken werden besonders in Europa favorisiert, aber auch in den USA und anderen Industrienationen entwickelt.

In den USA gibt es noch andere Ansätze. Zum Beispiel die Kernfusion mit Hilfe von Laserenergie. Dabei werden gigantische Hochenergielaser, welche große Lagerhallen ausfüllen, gebraucht. Verschiedene Laser werden dann gleichzeitig gezündet. Sie sind innerhalb einer Metallkugel auf ein

erbsengroßes Ziel gerichtet, welches aus Deuterium und ähnlichen Verbindungen besteht. Kann dabei genügend Energie aufgebracht werden, setzt die Kernfusion ein (Trägheitsfusion). Das Verhältnis von eingesetzter Energie zu freiwerdender Energie ist hierbei extrem schlecht. Kritiker sehen hinter diesen Experimenten auch eher militärische Zwecke, wie z.B. die Simulation von Nuklearexplosionen. Dieses Verfahren ist zur Energieerzeugung, bzw. zur Freisetzung von Kernenergie und deren Umwandlung in für uns nutzbare Energie wahrscheinlich nicht geeignet. Ein weiteres weniger bekanntes Verfahren, welches ebenfalls in den USA entwickelt wurde ist die Kernfusion durch hochenergetische Röntgenstrahlung. Hierbei wird um das Zielobjekt, welches im Prinzip die gleiche Form und den gleichen Aufbau hat, wie jenes bei der Laserfusion ein feines Drahtgitter angeordnet. Dazwischen befinden sich noch andere Materialien. Nun wird ein extrem starker Strom, welcher nur in komplexen riesigen Anlagen freigesetzt werden kann, innerhalb von Sekundenbruchteilen durch dieses Drahtgitter geschickt. Dieses verdampft zu Plasma, behält aber durch das Magnetfeld seine Form. Dabei wird extrem starke Röntgenstrahlung freigesetzt. Diese Röntgenstrahlung trifft gebündelt auf das Ziel und führt zur Kernfusion. Wie dies im Einzelnen geschieht ist auch den beteiligten Wissenschaftlern noch nicht 100%ig klar. Doch auch diese freigesetzte Energie ist im Vergleich zur aufgebrauchten Energie verschwindend gering und zur Energieerzeugung kaum geeignet, wobei man sich immerhin dabei im Medium Wasser befindet, so daß man theoretisch Dampf erzeugen könnte.

Die größten Erfolge verzeichnet bisher die Technik des magnetischen Einschlusses, also Tokamak-, und Stellarator-Prinzip. Hierbei gelang es schon mehr als die Hälfte der aufgebrauchten Energie durch die Fusion zurückzugewinnen. Ein Magneteinschlussreaktor muß eine bestimmte Größe haben um mehr Energie erzeugen zu können als aufgewendet werden muß. Dies kostet natürlich auch mehr. Der experimentelle Reaktor ITER (Internation Thermonuclear Experimental Reactor) soll das zehnfache (ursprünglich noch mehr, aber aus Kostengründen wurde der Reaktor verkleinert) der aufgebrauchten Energie freisetzen. Wenn eine stabile Kernfusion dauerhaft aufrecht erhalten werden kann, so wird man mit der enormen Strahlungshitze (das Plasma erwärmt sich auf mehrere 100 Millionen Grad Celsius) Wasser, oder einen anderen Energieüberträger verdampfen lassen und damit über Turbinen Strom erzeugen.

Denkbar ist auch die Vorschaltung eines Magnetohydrodynamischen Generators um den Wirkungsgrad noch etwas zu erhöhen. Der MHD-Generator ist im Prinzip ein Plasmadurchströmtes Rohr auf welches senkrecht zur Strömung ein Magnetfeld einwirkt. Durch die Lorentzkraft kommt es im Plasma zu einer Ladungstrennung. Es entsteht also eine Spannung, so daß man mit am Rohr angebrachten Elektroden elektrische Energie entnehmen kann (ob das bedingt durch die extrem hohen Temperaturen technisch machbar und wirklich sinnvoll (z.B. Energieverlust durch Umwandlungsstufen) wäre ist mir leider nicht bekannt). Das Plasma kann danach noch zur Verdampfung von Wasser zum Betrieb einer konventionellen Turbine benutzt werden.

Radioaktiver Müll soll in eher geringen Mengen entstehen und dieser auch nur schwach radioaktiv sein. Durch die Neutronenstrahlung welche bei der Fusion entsteht werden die Innenwände des Reaktors aktiviert, also das Material in radioaktive Isotope desselben umgewandelt. Daher sucht man noch nach Materialien welche sich nur zu einem geringen Maße aktivieren lassen, bzw. aus welchen nur sehr kurzlebige und damit unproblematische Isotope entstehen. Auch müssen die Wände ständig erneuert werden, da die Strahlung das Material langsam zerstört. Ein weiteres Problem ist die Abfuhr des entstehenden Heliums, welches ansonsten die Reaktion behindern, bzw. zum Erliegen bringen würde. Das größte Problem ist jedoch, wie so häufig das Geldproblem. Man ist bisher nicht sonderlich daran interessiert sich um die Energieversorgung der Zukunft zu sorgen, von daher bringt man auch keine besonderen Mittel auf. Genehmigungsverfahren für neue Reaktoren die sich über viele Jahre ziehen sind der Forschung sicherlich auch nicht dienlich. Der Etat für die Fusionsforschung ist verhältnismäßig klein. Eine massivere Förderung der Technik würde wahrscheinlich eine Nutzbarkeit noch vor dem Jahr 2040 ermöglichen.

Wenn diese Technik dann aber irgendwann ausgereift ist, was nach Meinung der führenden Forscher bei dem jetzigen Aufwand noch etwa 50-60 Jahre dauern wird, bietet sie eine fast unerschöpfliche Energiequelle für die Zukunft an. Wasserstoff ist das häufigste Element im

Universum und somit fast unbegrenzt vorhanden, wohingegen das Uran bei der jetzigen Nutzung nur noch etwa 70 Jahre reichen wird. Kohle, Öl und Gas gefährden auf lange Sicht das Klima, direkt Natur und Gesundheit. Zudem ist Öl zu kostbar um es zu verbrennen. Kernspaltung bringt zu viele hochradioaktive langlebige Abfallstoffe mit sich, zudem ist sie sicherheitstechnisch weitaus bedenklicher als die Kernfusion. Bei letzterer kann es grundsätzlich zu keiner Kettenreaktion kommen. Alternative Energien wie Sonne, Wind, Biomasse und Wasserkraft verbunden mit der Steigerung der Effektivität bei Produktion und Verbrauch von Nutzenergie werden sicherlich auch ihren Anteil an der zukünftigen Energiepolitik haben. Wind und Sonne sind jedoch nicht über das ganze Jahr konstant verfügbar, Wasserkraft gefährdet die Ökosysteme der Flüsse, zudem gibt es generell zu wenig Möglichkeiten diese Kraftwerke zu bauen. Allenfalls die Biomasse hat noch einiges an Potential, aber auch hier ist das Brennmaterial nicht unbegrenzt vorhanden. Die Fusionsenergie wird notwendig sein. Sie allein kann genügend Energie konstant liefern.

### **Science Fiction**

Noch Science Fiction ist dagegen die technische Energiegewinnung aus Antimaterie- Materie Zerstrahlung. Die gesamte Masse wird in Energie umgewandelt.

Daraus lassen sich nur sehr geringe Energiemengen gewinnen die unter dem Aufwand liegen überhaupt Antimaterie herzustellen (die aufzubringende Energie ist (noch) etwa 1000mal so groß wie die Energie, die dann in Form von Antimaterie gespeichert werden kann). Demnach käme Antimaterie auch nur als Energiespeicher in Frage. Es wäre ein idealer Energiespeicher für die Raumfahrt, da die Energiedichte nicht zu übertreffen ist, also am meisten Energie auf kleinstem Raum transportiert werden kann. Antimaterie müßte also zunächst auf der Erde (oder sonstwo) hergestellt werden, die Energie also zunächst hineingesteckt/gespeichert werden.

### **Der Casimireffekt**

Es werden zwei Metallplatten im Vakuum parallel zueinander aufgehängt, wobei der Abstand zwischen den Platten winzig ist. Diese nähern sich mit der Zeit an. Als Ursache wird hierbei die Existenz von virtuellen Photonen angesehen. Die Quantenmechanik erlaubt die kurzzeitige Entstehung von Teilchen, also Energie aus dem Nichts (Vakuumenergie). Zwischen den Platten ist nicht genügend Platz für die Existenz von Photonen. Von außen jedoch treffen Photonen auf die Platten und drücken die Platten somit aufeinander zu, da zwischen den Platten kein Gegendruck vorhanden ist.

### **Teilchen? Welle?**

Wir wissen nicht was Elektronen, Protonen und Neutronen wirklich sind. Wir können ihre Eigenschaften messen, aber die Ergebnisse lassen keine eindeutigen Analogien zu. Es sind weder Wellen noch sind es Teilchen. Es ist irgendetwas anderes, was die Eigenschaften von Beiden in sich vereint. Es gab lange Zeit Streit darüber, ob Photonen denn nun Teilchen sind oder Wellen. Die Tatsache, daß sich Licht in Quanten, also kleinen Energieeinheiten ausbreitet spricht für die Teilchentheorie. Man kann Photonen nachweisen. Es gibt Messapparaturen die Photonen zählen können. Das Phänomen der Interferenz spricht für die Wellentheorie, denn ein Teilchen kann nicht mit sich selbst interferieren. Kann ein Photon denn Welle und Teilchen zugleich sein? Auch bei Elektronen und Atomen sieht die Sache nicht anders aus. Elektronen und Atome haben sowohl Wellen- als auch Teilchen-Natur. Demnach muß die tatsächliche Beschaffenheit der Materie anders sein als wie wir sie uns vorstellen. Die Teilchenvorstellung ist nicht richtig, aber sie reicht aus um allerlei Dinge zu erklären und zu tun. Auch kann das Verhalten von Elementarteilchens nicht vorausgesagt werden, Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens können nicht gleichzeitig bestimmt werden. Dadurch können nur Wahrscheinlichkeiten angegeben werden mit denen sich ein Teilchen an einem bestimmten Ort mit einem bestimmten Impuls. Die Erkenntnisse der QM verhindern somit eine theoretische berechenbare, determinierte Welt.

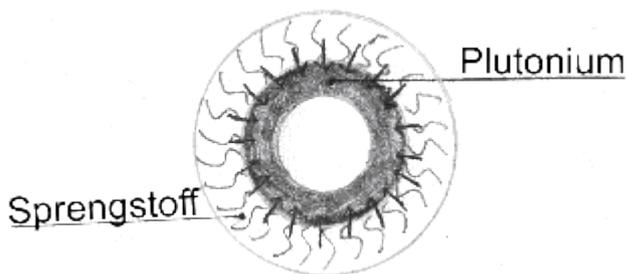
Im Doppelspalt-Experiment werden Elektronen auf einen Doppelspalt geschossen welche dann auf einen Schirm treffen. Nun sollte man erwarten, daß diese Elektronen entweder durch das eine Loch gehen oder durch das andere der beiden. Installiert man eine Apparatur, welche messen kann durch welches Loch das Elektron geht, so geschieht was man erwartet: Man erhält auf dem Schirm ein Muster nach welchem jeweils einige Elektronen durch das eine, einige Elektronen durch das andere Loch gegangen sind und demnach direkt hinter den Löchern die meisten Treffer zu finden sind. Zu bedenken ist hierbei jedoch, daß die Apparatur die Elektronen stört um sie messen zu können. Schaltet man die Apparatur ab, so entsteht nach einiger Zeit ein Interferenzmuster (Ein Streifenmuster mit Streifen an denen keine Elektronen aufgetroffen sind und Stellen an denen viele Elektronen aufgetroffen sind, basierend auf der Analogie der sich gegenseitig auslöschenden, bzw. verstärkenden Wellen), obgleich immer nur ein Elektron nach dem anderen die Elektronenquelle verlässt, also nicht zwei Teilchen hinter dem Spalt aufeinandertreffen könnten und auf diese Weise das Muster hervorgerufen wird. Das Elektron muß also mit sich selbst interferiert haben, obwohl wir, wenn wir nachsehen, feststellen, daß das Elektron als ein Ganzes durch das eine oder durch das andere Loch geht. Eine Erklärung dafür ist die Existenz paralleler Universen. Das einzelne Elektron unseres Universums interferiert mit anderen Elektronen aus anderen Universen.

# Anhang

## Der Aufbau einer Plutoniumbombe

Durch den Explosionsdruck wird das Plutonium zu einer kritischen Masse verdichtet, wodurch eine Kettenreaktion stattfindet, welche innerhalb kürzester Zeit eine äußerst große Energiemenge freisetzt.

Der Sprengstoff ist nach außen hin von einem Metallmantel umgeben, damit die Explosionsenergie nicht nach außen entweicht, sondern auf die Plutonium-Hohlkugel konzentriert wird. Das Plutonium wird dabei auf etwa 50 000 000 °C erhitzt und dabei im flüssigen Zustand massiv zusammengepresst.

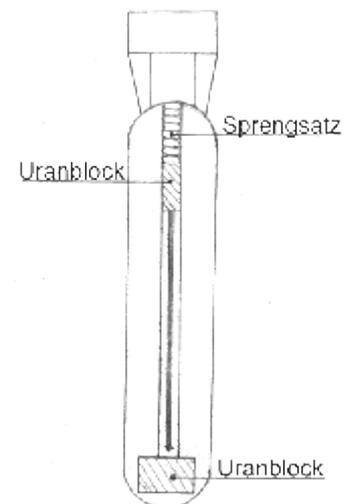


Die Bombe, die die japanische Stadt Nagasaki verwüstete, war nach diesem Prinzip gebaut. [3]

[↑ zurück](#)

## Der Aufbau einer Uranbombe (auch genannt Uran-Kanone)

Dieser Bombentyp ist der einfachste von allen. Man benötigt lediglich etwas Sprengstoff und zwei Uran 235 Blöcke mit unterkritischen Massen. Der kleinere Block wird in einem Rohr befestigt, dahinter eine Sprengladung angebracht. Der größere Block befindet sich am anderen Ende dieses Rohres. Die Bombe wird gezündet, indem man den Sprengstoff zündet. Durch die Explosion wird der kleine Uranblock beschleunigt, bis er auf den größeren trifft. Haben die beiden Blöcke zusammen eine Masse, welche die kritische Masse überschreitet, so kommt es nun zu einer Kettenreaktion. Dieses Prinzip lässt sich auch mit mehreren Blöcken durchführen. So kann die Bombe auch kugelförmig sein, außen einzelne Blöcke in Rohren mit Sprengladungen versehen, welche bei der Zündung in der Mitte zusammentreffen, wodurch eine Kettenreaktion ausgelöst wird. [4]



[↑ zurück](#)

## Der Aufbau einer Wasserstoffbombe

Die Wasserstoffbombe gewinnt ihre Energie aus der Kernfusion von Wasserstoffisotopen zu Helium. Dies ist nur bei extrem hohen Druck und Temperaturen von etwa 100 Millionen Grad möglich. Daher braucht die Wasserstoffbombe eine konventionelle Atombombe als Zünder. Hierbei bietet sich die Plutoniumbombe (auch Implosionsbombe genannt) an. Die Größe dieser Bombe,

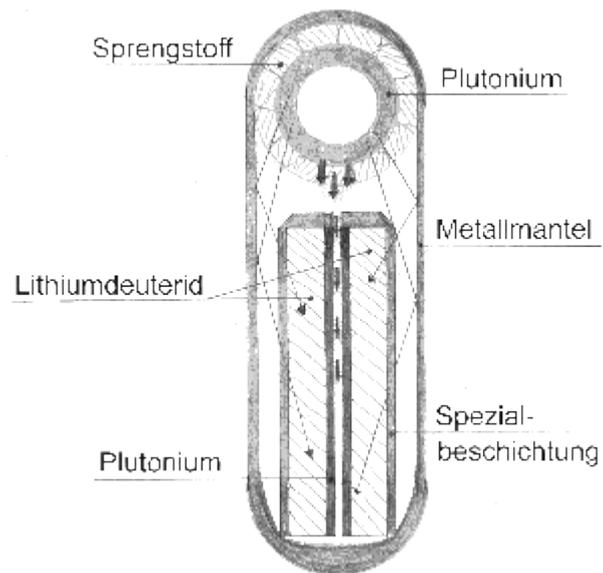
aber auch die größere Geschwindigkeit, mit der die Kettenreaktion stattfindet, bzw. ausgelöst wird, sind einige der Gründe dafür.

Die Plutoniumbombe wird an einem Ende der Bombe eingebaut. Darüber befindet sich eine Ladung aus Lithiumdeuterid, welche von einer Spezialbeschichtung umgeben ist. In diese Ladung ist ein Rohr, welches aus Plutonium besteht eingebettet. Die ganze Bombe ist von einer besonders starken Metallummantelung umgeben.

Die Bombe wird gezündet. In Sekundenbruchteilen wird aus dem Plutoniumsprengsatz Strahlung emittiert, welche der eigentlichen Explosion vorausleitet. Die Strahlung (Röntgen- und Gammastrahlung) trifft auf das Bombengehäuse welches wie ein Hohlspiegel wirkt und sie auf die die Lithiumdeuterid umgebene Spezialbeschichtung lenkt. Diese wird dadurch in einen plasmatischen Zustand versetzt, wodurch ein hoher Druck auf das Lithiumdeuterid ausgeübt wird, wodurch dieses verdichtet wird.

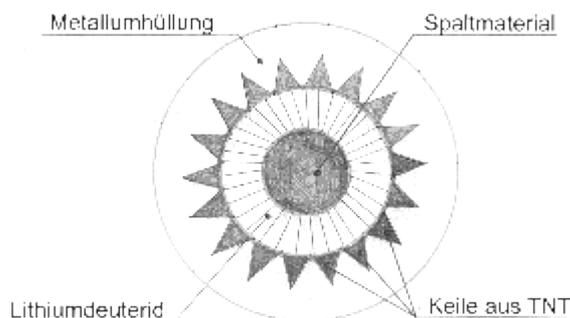
Mit geringer Zeitverzögerung werden Neutronen von der Plutoniumbombe freigesetzt. Diese rasen in das Plutoniumrohr und bedingen Kernspaltungen. Durch den Druck des Plasmas und der Hitze der Kernspaltungen (daher wird dieses Rohr auch Zündkerze genannt) kommt es zur Kernfusion. Der beschriebene Vorgang findet in kleinsten Bruchteilen von einer Sekunde statt. Schließlich wird die gesamte Energie aus Kernspaltung und vor allem aus Kernfusion freigesetzt. [4]

[↑ zurück](#)



## Der Aufbau einer Neutronenbombe

Die Neutronenbombe ist technisch am schwierigsten herzustellen. Dabei ist das größte Problem, die Sprengladungen innerhalb einer Millionstel Sekunde gleichzeitig zu zünden. Der Aufbau ist mit einer Implosionsbombe, wie bei der Plutoniumbombe zu vergleichen. Nur wird hierbei keine Hohlkugel angefertigt, sondern nur eine kleine Spaltstoffkugel von wenigen hundert Gramm



Gewicht. Diese ist umgeben von einer Kugel aus Lithiumdeuterid, also Fusionsstoff. Auf diesem sind etliche Sprengstoffkeile angeordnet. Diese werden wiederum von einem starken Metallmantel umgeben.

Wird die Bombe gezündet, so verdichtet sich die Spaltstoffkugel (in der Regel Plutonium, da geringere kritische Masse) so sehr, daß die stark unterkritische Masse zu einer Kritischen wird. Die Kettenreaktion sorgt für die nötige Temperatur, wodurch die Kernfusion im

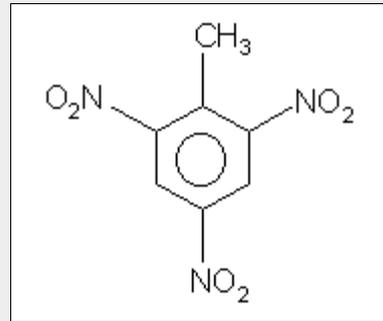
Lithiumdeuterid einsetzt. Zuletzt wird die gesamte Energie auf einen Schlag freigesetzt. Durch die Kernfusion werden die gewünschten Neutronen in großer Zahl freigesetzt. Ebenso starke Strahlung. Durch die geringe Masse aber bleibt die direkte Zerstörung durch den Explosionsdruck gering. []

[↑ zurück](#)

## Trinitrotoluol

Hier eine kurze Zusammenfassung von Eigenschaften des Trinitrotoluols.

Strukturformel:	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$
Schmelzpunkt:	82°C
Zündtemperatur:	295°C
Dichte:	1,65 g/cm <sup>3</sup>
Stabil bis:	140°C
Detonationsgeschw.:	6900 m/s
Schallgeschw. (Luft, 0°C):	330 m/s
Reaktionsprodukte:	N, CO <sub>2</sub> , C, H <sub>2</sub> O
Weitere Eigenschaften:	giftig



Dargestellt ist ein Isomer des Trinitrotoluols.

Anmerkungen:

Schmelzpunkt, Dichte und Stabilität sind je nach Isomer etwas verschieden.

Um TNT als Sprengstoff einzusetzen wird ein Initialzündler benötigt. Der freiwerdende Kohlenstoff sorgt für starke Rußentwicklung bei der Reaktion.

Erstaunlich ist die Detonationsgeschwindigkeit. Sie liegt ziemlich genau bei Mach 21 (21fache Schallgeschwindigkeit). [7]

[↑ zurück](#)

---

Quellen:

- [1] Brockhaus in einem Band; Leipzig 1994, S.61
- [2] [http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/xray/making\\_xrays.html](http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/xray/making_xrays.html)
- [3] <http://www.geo600.uni-hannover.de/physikjahr/gwwellen.html>
- [4] PM 7/1995 (23.06.1995), S. 50/51
- [5] <http://www.lpm.uni-sb.de/chemie/kernchem/texte/kern13.htm>
- [6] PM 5/1981 (10.04.1981), S. 30-36
- [7] Microsoft Encarta
- [8] <http://nuketesting.enviroweb.org/hew/>

Buchempfehlungen:

### Quarks - Urstoff unserer Welt, Harald Fritzsch

Der Aufbau der Materie, sehr umfangreich und leichtverständlich beschrieben. Die Gruppentheorie, sowie die geschichtliche Entwicklung der Teilchenphysik, bzw. der Entdeckung von neuen Teilchen wird beschrieben.

### QED - Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie, Richard P. Feynman

Sehr gutes, sehr anschauliches Buch über die Natur des Lichts und der Materie. Der einzige Haken an dem Buch ist die teilweise schlechte Übersetzung ins Deutsche, wie man sie seltsamer- und bedauerlicherweise bei einigen seiner Bücher vorfindet, wodurch das Gesamtwerk jedoch glücklicherweise kaum in seiner Verständlichkeit leidet.

**Auf der Suche nach Schrödinger Katze**, John Gribbin  
Die verrückte Welt der Quantenmechanik und deren Entwicklung.

**Schrödingers Kätzchen**, John Gribbin  
Fortsetzung des ersten Buchs mit Deutungsversuch der QM.

**Im Hyperraum**, Michio Kaku  
Wie man über die Annahme von mehr als 3 räumlichen Dimensionen die Welt elegant erklären könnte und welche Folgen diese Theorie, falls sie denn stimmt, für unsere Zukunft haben könnte.

**"Sie beliebten wohl zu scherzen, Mr. Feynman!"**, Richard P. Feynman  
Feynman's außergewöhnliche Lebensgeschichte. Er berichtet u.a. über seine Zeit beim Manhattanprojekt. Feynman erscheint als lebensfrohes, dennoch durchaus kritisches Genie und Lebenskünstler. Das Buch ist ausgesprochen interessant und unterhaltsam.

**Oppenheimer und die Bombe**, Paul Strathern  
Eine Kurzbiographie über Oppenheimer mit dem Schwerpunkt auf seiner Arbeit in Los Alamos. Locker, beinahe satirisch geschrieben, lesenswert.

**Im Reich der Elemente**, P.W. Atkins  
Wie entstanden die Elemente? Wodurch entstehen ihre Eigenschaften? Eine spannende und lehrreiche Reise durch das Periodensystem der Elemente mit einem Oxfordprofessor für anorganische Chemie als Reiseführer. So leicht kann man die Grundlagen der Chemie bezüglich der Eigenschaften, also letztlich des Aufbaus der Elemente erlernen. Kurzweilig, lehrreich, absolut lesenswert.

---

© 1999-2007 Andi <[E-Mail senden](mailto:andi@6thfloor.de)>      *Revision 2.2 · 23. Mai 2007*

Updates und weitere Artikel sind zu finden unter  
[www.6thfloor.de/sciencenet](http://www.6thfloor.de/sciencenet)