

## Texte zur Atomenergie (I)

Jahrtausende lang kam die Menschheit auf eine Weise zu Energie, die jeder kennt. Durch das Verbrennen von Holz, Kohle, Öl, Gas ... Mit chemischen Reaktionen, bei denen Energie freigesetzt wird und diese Energie als Wärme wahrgenommen wird. Um sie zu verstehen, schauen wir uns eine der einfachsten Reaktionen dieser Art an: die Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff verbrennt mit Sauerstoff zu Wasser:  $2 \text{ H} + \text{ O} = \text{ H}_2\text{O}$ .<sup>2</sup> (Zwei gasförmige Elemente verbinden sich zu einem flüssigen und ganz andersartigem Material. Oder schon in den Worten der Dialektik ausgedrückt These + Antithese = Synthese.) Dabei wird ziemlich viel Energie freigesetzt. Aber woher kommt sie? Der Grund ist, daß die Ausgangselemente 2 H und O zusammen eine Winzigkeit mehr Masse haben als das Produkt H<sub>2</sub>O. Eine Winzigkeit, ( $10^{-7}$  Promille<sup>3</sup> = wenn ich richtig gerechnet habe: 10 Milliardstel Prozent), die aber riesige Folgen hat: Gemäß der berühmten Formel von Einstein  $e = m \cdot c^2$ . Dabei ist „e“ Energie, „m“ ist Masse, und „c“ ist ein ungeheuer großer Faktor, nämlich die Lichtgeschwindigkeit, ca. 300 000 km/sek, und die geht hier im Quadrat ein! Also mit  $300\,000 \times 300\,000$ , was bei einem Gramm eine Wärmemenge von über 2000 Kalorien ergibt.<sup>4</sup> Mehr als 30 Kubik-Zentimeter handwarmes Wasser bringt man damit aber nicht zum Sieden!

Solche chemischen Reaktionen können zwischen Atomen wie hier zwischen Wasserstoff und Sauerstoff stattfinden oder zwischen Verbindungen von verschiedenen Atomen. Z.B. ist das

---

<sup>1</sup> in Zusammenarbeit mit Michael Seiler und Volker Veeseer.

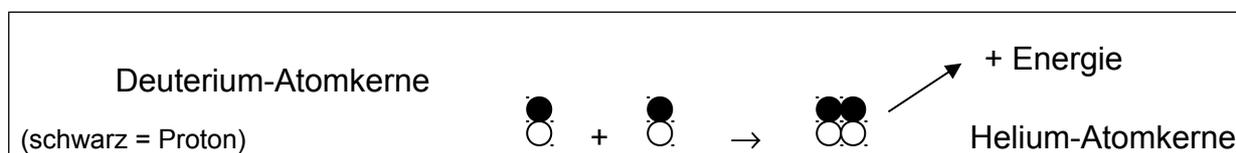
<sup>2</sup> Wasserstoff und anderes verbrennt aber nicht nur mit Sauerstoff, der in der Luft enthalten ist. Am energiereichsten ist die Verbrennung von Wasserstoff mit Fluor, die deswegen auch für Raketenantriebe in Betracht gezogen wurde. (Theoretische Auspuffgeschwindigkeit ca. ein Fünftel größer als mit Sauerstoff.)

<sup>3</sup> aus Schaubild im Informationszentrum der Energiewerke Nord (im ehemaligen Kernkraftwerk Greifswald)

<sup>4</sup> Diese abgestrahlte Energie ist aber auch nichts anderes als Materie. (Deren Grundeigenschaft ist *immer* die Bewegung. Sozusagen langsamere hier bei den kalten Ausgangselementen, schnellere bei den heißen Verbrennungsprodukten. Gar keine Bewegung gibt es erst beim „absoluten“ Nullpunkt =  $-273,15$  ° Celsius, dem man sich aber nur annähern kann.) Man stelle sich vor, die Verbrennung fände in einem geschlossenen Gefäß statt, das so isoliert ist, daß es außen trotz Verbrennung seine Temperatur nicht ändert und alle Energie „drinnen“ bleibt. (Das ist natürlich eine rein hypothetische Vorstellung, da ein derart absolut isolierendes Gefäß nicht herstellbar ist.) Dann verändert dies Gefäß samt allen Verbrennungsprodukten sein „Gewicht“ überhaupt nicht! Die freigesetzte Energie hat also genau die Masse, die dem durch die Verbrennung erzeugten Wasser „fehlt“.

Öl in der Heizung eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff. Die wiederum mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasserdampf verbrennt. All diese Atome bestehen aus einem (elektrisch positiv geladenem) Kern und den diesen in großem Abstand umkreisenden<sup>5</sup> (elektrisch negativ geladenen) Elektronen (so daß man von Elektronenhüllen und -Schalen spricht). Wichtig ist jetzt: All diese chemischen Reaktionen lassen die Kerne der Atome unverändert. Sie dringen nicht zu ihnen vor, sondern spielen sich in der äußeren Sphäre der Elektronen ab.<sup>6</sup> Auch alle sogenannten alternativen oder nachhaltigen Energien kommen darüber nicht hinaus!

Erst nach Tausenden von Jahren, Anfang des vorigen Jahrhunderts, entdeckte man, daß in den Atomen noch gigantisch viel mehr Energie „schlummert“. Nämlich in den Kernen der Atome! Und wenn ein großer Kern in kleinere zerfällt bzw. gespalten wird<sup>7</sup> oder kleine zu einem größeren verschmelzen, entstehen nicht neue Verbindungen von Elementen, sondern neue Elemente. Nehmen wir wieder den Wasserstoff (das „einfachste“ aller Elemente). Sein Kern besteht nur aus einem elektrisch positiv geladenem Teilchen, einem Proton. Zusätzlich zu den Protonen besteht der Kern ansonsten auch aus elektrisch neutralen Teilchen, den Neutronen. So gibt es z.B. auch den sogenannten „schweren“ Wasserstoff, das Deuterium, dessen Atomkern aus 1 Proton und 1 Neutron besteht. Wenn man zwei solcher Atomkerne zum Verschmelzen bringt, entsteht ein neues Element, das Helium mit 2 Protonen und 2 Neutronen im Kern (und sich als Edelgas chemisch ganz anders verhält wie Deuterium).



Auch bei dieser Reaktion findet eine Verminderung der Masse statt. (Der sogenannte „Massendefekt“, den ich schon bei den chemischen Reaktionen ins Feld führte, der aber bei der geschilderten Kernreaktion ungleich größer ist.) Die Massen von zwei Deuteriumatomkernen beträgt zusammen 4,03188 Masseeinheiten; die von einem Heliumatomkern aber fast 1 % weniger (4,00151). Und diese immer noch sehr klein wirkende Verringerung der Masse

<sup>5</sup> wobei das „Umkreisen“ nur eine Hilfsvorstellung ist (eine zutreffendere Beschreibung gibt die Quanten-Lehre)

<sup>6</sup> Genauer gesagt am Beispiel der Bildung von Wasser: Die beiden Wasserstoff-Atome verbinden ihre insgesamt 2 Elektronen mit der äußeren Schale des Sauerstoff-Atoms, das dort 6 Elektronen hat, auf dieser Schale aber bis zu 8 Elektronen Platz bietet. (Es geht also kein Elektron „verloren“! So daß sich damit eben nicht die beachtliche Energie erklären ließe, die bei der Verbrennung von Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser freigesetzt wird.) Der Abstand dieses äußeren Durchmessers des Atoms vom Atomkern ist übrigens mehr als 5 000 größer als der Atomkern selbst! Wiederum befinden sich 99,95 bis 99,98 % der gesamten Masse des Atoms im Atomkern, nur der winzige Rest entfällt auf die Elektronen.

<sup>7</sup> Z.B. Uran 235 (+ 1 Neutron) in Barium und das Edelgas Krypton (+ 2 Neutronen, worin sich schon die Möglichkeit einer sich steigernden Kettenreaktion andeutet; denn diese 2 Neutronen können also schon wieder doppelt soviel U-235-Kerne spalten usw. Weiteres dazu im Text II.)

setzt gemäß  $e = m \cdot c^2$  eine ungeheure Menge an Energie frei. „Das sind für ein Grammatom (4g) Helium 6,18mal  $10^8$  kcal, eine Wärmemenge, die man sonst durch Verbrennen von 5 bis 6 Eisenbahnladungen hochwertiger Kohle gewinnt.“<sup>8</sup>

Bei der Fusion von zwei Atomkernen zu einem Atom eines anderen Elements (Helium) tritt, wie gesagt, ein Massenverlust („Massendefekt“) auf. Aber was ist Masse? „Masse ist geronnene Energie.“<sup>9</sup> Sagt ein um Verständnis bemühter Physiker.<sup>10</sup> Wie „groß“ die Energie ist, ist also durch die Masse der Atomkerne festgelegt ( $e = m \cdot c^2$ ). Bei der Fusion entspricht der erwähnten Differenz zwischen den Massen eine Differenz der Energie. Und weil das Fusionsprodukt eine geringere Masse hat, kann dieser Teil der Energie nicht mehr in Atomkernen gebunden sein, sondern ist im wahrsten Sinne des Wortes „entfesselt“.<sup>11</sup> Am sichtbarsten in der Wasserstoff-Bombe. Aber eben auch nutzbar bei der Kernfusion in einem Reaktor. Millionenfach mehr als bei der (chemischen) Verbrennung einer vergleichbaren Menge.<sup>12</sup> Und das macht die Kernfusion für die Menschheit und alle, die sie von Not und Ausbeutung befreien wollen, so interessant!<sup>13</sup>

---

<sup>8</sup> Aus der Broschüre „Atomkraft – Energiequelle der Zukunft!“ Nachdruck des gleichnamigen Artikels aus dem Sonderenteil der „Kämpfenden Jugend“ Nr. 1/79 zur Atomenergie. - Auch bei der Kernfusion ist die Materie nicht verschwunden, sondern wurde auch hier nur auf zweierlei Weise beziffert! Eine der Weisen, in der Deuterium-Kerne fusionieren, wird so dargestellt, daß ein <sup>3</sup>Helium-Kern entsteht, der nur 1 Neutron enthält, und das andere Neutron freigesetzt wird und eine Energie von 2,45 MeV darstellt. (Siehe „Wikipedia / Kernfusion“.) Ebenso wahrscheinlich ist (zu 50%), daß der „überschwere“ Wasserstoff Tritium entsteht, der wiederum energiereich mit Deuterium fusionieren könnte .... (s. hier S. 11). Bei einigen Wasserstoff-Bomben beginnt die Fusion allein mit Deuterium und entsteht erst im Laufe der Explosion Tritium (s. a. a.O.)

<sup>9</sup> **Masse ist also immer noch Energie. Sie hat nur ihre Form geändert. Und umgekehrt ist Energie immer noch Masse. (Vielleicht könnte man sagen: „Energie ist flüchtige Masse.“) In welcher Form Masse und Energie auftreten, sind sie eins: Materie. Es ist die Art der Wahrnehmung, die uns – die es so wenig gewöhnt sind, dialektisch, d.h. in der Einheit von Gegensätzen zu denken – mal von Masse, mal von Energie sprechen läßt, ohne beim einen das andere mitzudenken.**

<sup>10</sup> Prof. Harald Lesch in der Fernsehsendung BRα Centauri. <http://www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-bindungsenergie-harald-lesch-ID1207829877868.xml>

<sup>11</sup> Bevor es zur Fusion kommen kann, muß aber ein Hindernis überwunden werden: Da die Atomkerne wegen ihrer Protonen positiv geladen sind, stoßen sie einander ab. Damit sie einander so nah kommen, daß sie fusionieren können, muß Energie zugeführt werden (Druck, Beschleunigung, Wärme). Aber wenn die Fusion eingesetzt hat, kann diese Energie von ihr selbst geliefert werden und macht bei der gegenwärtig favorisierten Fusionsart nur ein Fünftel der gesamten auftretenden Energie aus. (Nach: Kernfusion, Helmholtz Gemeinschaft 2006, S. 11. Siehe hier den 3. Text zur Atomenergie.) Der Großteil steht für eine industrielle Nutzung zur Verfügung. Aber auch wenn der Nutzungsgrad nur 1 % betrüge (schließlich muß auch der Strom fressende „magnetische Einschluß“, von dem im 3. Text die Rede ist, aufrecht gehalten werden), also auch wenn der Nutzungsgrad derart gering wäre, wäre das 10.000 mal mehr als bei der chemischen Verbrennung. Hier herrscht per se und nicht durch dauernde menschliche Anstrengung Überfluß! Und der Arbeiter „tritt neben den Produktionsprozeß, statt sein Hauptagent zu sein“. (Karl Marx, Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie, Berlin 1974, S. 592f.)

<sup>12</sup> „Sie ist etwa  $10^6$  größer als die Energien der chemischen Bindung und läßt sich aus dem  $\rightarrow$  Massendefekt berechnen (...).“ Brockhaus ABC der Naturwissenschaft und Technik, Leipzig 1957, S. 76.

<sup>13</sup> Man darf nicht nur, man muß in Tausenden von Jahren denken (und nicht nur in Jahrhunderten), wenn man die Revolutionierung der Energieversorgung durch die Kernkraft würdigen will. So wie es in anderem, aber nicht ganz anderem Zusammenhang Bertolt Brecht tat: „Tausend Jahre war da nur ein Gelächter / Wenn die Werke von Menschenhand angetastet wurden. / Aber jetzt wird sich herumsprechen auf allen Kontinenten: / Der Fuß, der die Felder der neuen Traktorenfahrer zertrat / Ist verdorrt. / Die Hand, die sich gegen die Werke der neuen

## Texte zur Atomenergie (II)

Ich habe mal gesagt: *Kernspaltungskraftwerke* sind gezähmte Atombomben. (Was übrigens auch von anderen gesagt wird.) Ein Techniker des stillgelegten *Kernspaltungswerk Greifswald* hat sich gegen diese Wortwahl gewehrt. Was ich mehr als verständlich finde für einen Bürger der ehemaligen DDR, dem mit der nach der Annexion der DDR erfolgten Stilllegung *seines* Kernkraftwerks nicht nur der Arbeitsplatz genommen wurde.

Nichtsdestotrotz würde ich inzwischen sogar noch einen Schritt weitergehen und sagen: *Kernspaltungskraftwerke* sind nichts anderes als schlecht gebaute Atombomben!

Um diese These zu überprüfen, müssen wir uns zuerst vergewissern, wie eine Atombombe funktioniert? Nehmen wir zum leichteren Verständnis die einfachste Form, das sogenannte „Kanonenprinzip“ (auch „Gun-Design“ genannt). Nach diesem Prinzip funktionierte die erste Atombombe, die über Menschen abgeworfen wurde. Über Hiroshima. Im Jahre 1945. Sie enthielt 2 Körper einer Uran-Art (U 235), die im natürlichen Uran ganz gering enthalten ist und ab ein paar kg eine sogenannte „kritische Masse“ abgibt. Der eine Körper war eine Kugel mit einer kegelförmigen Bohrung, in die exakt der zweite kegelförmige Körper reinpaßte. Jeder dieser beiden Körper konnte für sich allein noch keine Explosion hervorrufen. Aber mittels einer Ladung normalen Sprengstoffs wurde der kegelförmige Körper auf die Kugel geschossen. In dem Augenblick, wo beide Körper dadurch eine Einheit zu bilden begannen, wurde mehr als die „kritische Masse“ und damit die Atombomben-Explosion erreicht.

Doch wie kommt es zur Atombomben-Explosion? Durch eine Kettenreaktion. Da sendet einer dieser Uran-Atomkerne zwei bis drei Neutronen aus. Jedes dieser Neutronen kann einen anderen Uran-Atomkern zu dessen Spaltung veranlassen, wobei dieser wieder zwei bis drei Neutronen aussendet. Also aus zwei gespaltenen Atomkernen werden vier bis sechs, daraus 8 bis 12 usw. usw. Bis es in Sekundenbruchteilen zur Spaltung fast aller Atomkerne und damit zur Atombomben-Explosion kommt.

Aber, und jetzt nähern wir uns schon dem Kraftwerk: Wenn die erwähnten Körper nicht exakt ineinander passen oder die Geschwindigkeit, mit welcher der eine auf den anderen geschossen wurde, zu gering ist, kommt es zur „Frühzündung“ und gibt es nur eine sogenannte

---

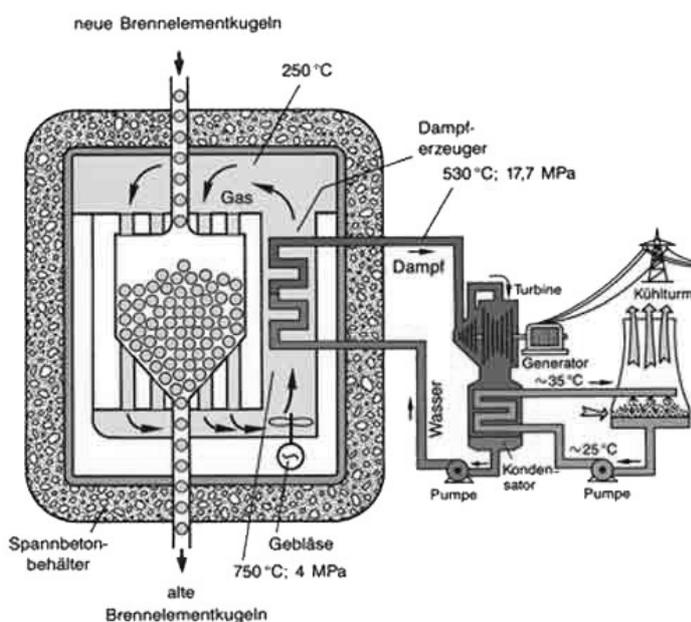
Städtebauer erhob / Ist abgehauen.“ (aus: AN DIE DEUTSCHEN SOLDATEN IM OSTEN.)

„Verpuffung“, auch eine Kernreaktion, die aber zu langsam für eine Explosion ist. Das wäre eben eine „schlecht gebaute Atombombe“.

Genau mit diesen verlangsamten Reaktionen arbeiten nun die üblichen *Kernspaltungskraftwerke*. Sie haben Brennstäbe z.B. aus einer Mischung des natürlichen Urans mit z.B. der Uran-*Art*, die ab einer bestimmten Menge die erwähnte „kritische Masse“ bildet. Diese Brennstäbe befinden sich z.B. ein ganzes Jahr im Reaktor. (Genauer gesagt, wird z.B. jedes Jahr ein Drittel der Brennstäbe entfernt und durch neue ersetzt.) Der Reaktor enthält also in jeder Minute den Brennstoffvorrat für mindestens ein ganzes Jahr! Wegen der Mischung und dem Abstand der Brennstäbe kann es nicht zu einer der Atombombe vergleichbaren Explosion kommen. Aber natürlich gibt es auch hier die Kettenreaktion. Sie wird nur durch eingeführte Stäbe aus einem anderen Material „gebremst“. Die schlucken Neutronen und sorgen im Idealfall dafür, daß nur *ein* Neutron den nächsten Atomkern erreicht. Das Ganze funktioniert so, daß diese „Bremsstäbe“ zunächst vollständig eingeführt sind. Dann gibt es gar keine Kettenreaktion und auch keine Leistung. Zieht man sie dagegen langsam heraus, beginnt die Reaktion. Wenn die Reaktion zu heftig wird, werden die „Bremsstäbe“ wieder eingeführt. Jetzt stellt Euch vor, die „Bremsstäbe“ würden blockieren und sich nicht wieder einführen lassen. Dann würde die Kettenreaktion auch im Kernkraftwerk eine unkontrollierte. Und das mit Brennstoffvorrat für ein Jahr oder länger. Keine Atombomben-Explosion, aber das, wovon Ihr schon gehört habt: eine „Kernschmelze“. Das ganze Zeug erhitzt sich so sehr, daß es schmilzt, reagiert dabei noch heftiger miteinander und die Schmelze frißt sich gegebenenfalls immer weiter in den Erduntergrund hinein. Für den gedachten Extremfall gibt es den Begriff des „China-Syndroms“, d.h. daß sich die Ganze von den USA bis nach China durchfrißt. Diesen Fall gibt es sicher nicht. Aber die bekannten Kernschmelzen und die damit verbundenen Explosionen haben schon viel Unheil angerichtet.

Im Ruhrgebiet lieferte von 1983 bis 1989, also nur sechs Jahre lang, ein *Kernspaltungsreaktor* elektrischen Strom, der das Problem der möglichen Kernschmelze nicht kennt. Er enthielt nicht soviel spaltbares Material, wie er für ein ganzes Jahr brauchte.

Sondern es wurde ihm nach und nach zugeführt. Und bei Ausfall der Kühlung wird das Uran hier auch „zwar erst wärmer, dann gerät die Kettenreaktion ins Stocken, die Temperatur sinkt ab oder bleibt stabil, ohne daß man etwas von außen tun müsse“! (SZ 18.4.2011.) Der Typ wird „Kugelhaufen-Reaktor“ genannt,



weil sich das spaltbare Material in Graphit-Kugeln befindet, die von oben nach und nach eingefüllt werden und ihn unten nach und nach wieder verlassen, wenn sie sich „verbraucht“ haben. Es handelt sich um einen sogenannten „Hoch-Temperatur-Reaktor“, der seine Energie nicht an ein Kühlwasser, sondern erst mal an das Edelgas Helium abgibt. Da er mit mehrfach höheren Temperaturen wie die Siede- oder Druckwasser-Reaktoren arbeitet und die Kugel-Zu- und Abfuhr auch nicht ganz einfach ist, bereitet sein Betrieb technische Probleme, die sich nur nach und nach im Betrieb lösen lassen. Die SPD-Landesregierung wollte dafür kein Geld mehr geben, und so steht von diesem Reaktor nur noch die Ruine herum. Aber in China haben sie den Kugelhaufen-Reaktor weiterentwickelt und wollen jetzt 30 Stück davon bauen!

Es gab und gibt also auch im Kernspaltungsbereich Alternativen zu den geläufigen Reaktoren. Aber es gibt auch die Alternative zur Kernspaltung überhaupt. Vom Konzept her auch schon seit den fünfziger Jahren. Das ist der *Fusions*-Reaktor. In ihm werden keine Atomkerne gespalten, sondern leichte Atomkerne zu schwereren verschmolzen. Dabei tritt überhaupt keine Kettenreaktion auf! Sondern: Wenn die Brennstoff-Zufuhr gestoppt wird oder eine Störung auftritt, hört die Reaktion eben auf. Außerdem liefert die Kernfusion das 700fache an Energie wie die Kernspaltung. Und soweit es überhaupt „Abfall“ gibt, ist er viel, viel kurzlebiger. (Maximal einige Jahrzehnte.) Auch eine Kernfusion gibt es seit Urzeiten und liefert Energie, ohne die es uns gar nicht gäbe. Nämlich auf der Sonne, deren Strahlen auf der Erde für ein leidliches Klima sorgen. Seit den Fünfziger Jahren gibt es sie aber auch auf der Erde selbst: in Form der Wasserstoff-Bombe. Nur braucht die zur „Zündung“ so hohe Temperaturen und Drücke, daß zur ihrer Zündung „normale“ Atombomben verwendet werden. Es geht aber auch anders. In den USA gibt es Versuche, durch den „Beschuß“ mit starken Laserstrahlen kleine Kernfusionen einzuleiten. Bei den meisten nicht-militärischen Konzepten wird wiederum versucht, die nötigen Temperaturen und Drücke dadurch zu erreichen, daß man den „Brennstoff“, nämlich den schweren und überschweren Wasserstoff, in ein Magnetfeld „einsperrt“. Auf die Idee kam man in den fünfziger Jahren in der Sowjetunion, mit dem sogenannten „Tokamak“, der bis heute immer wieder und in immer größeren Ausmaßen nachgebaut wird. Aber das Prinzip hat auch seine Tücken, so daß man auch vom größten geplanten, dem ITER-Reaktor, nur eine jeweils fünf Minuten andauernde Energie liefernde Fusion erwartet. Davon und wie man versucht, zu einer ununterbrochenen Kernfusion im nicht-militärischen Bereich zu kommen, wird im nächsten Referat die Rede sein. Hier sei nur soviel gesagt: Als Kind las ich in den sechziger Jahren, daß es den Kernfusions-Reaktor in zwanzig Jahren geben würde. 50 Jahre später gibt es ihn immer noch erst im Versuchsstadium. Wieweit das der Natur der Sache geschuldet ist, kann ich nicht beurteilen. Ich weiß nur, daß nur ein Bruchteil der Mittel in die Erforschung der Kernfusion gesteckt werden, die nötig wären. Warum auch, solange sich mit den Kernspaltungsreaktoren hohe Profite erzielen ließen!

## Texte zur Atomenergie (III)

Kommen wir jetzt endlich zur Energie der Zukunft. Zu der Energie, welche die Energie des Kommunismus sein wird, weil mit einem Minimum an menschlicher Arbeit aus nahezu unerschöpflichen Rohstoffen Energie im Überfluss freigesetzt wird. Das ist die mehrfach erwähnte *Kernfusion*. Sie gibt es, wie schon gesagt, als Konzept seit den 50er Jahren, in der Praxis aber erst noch in verschiedenen Versuchsstadien.

Energie freisetzende Kernfusion ist das Verschmelzen leichter Atomkerne zu einem schwereren.

Bevor man Atomkerne miteinander verschmelzen kann, muß man sie von den Elektronen trennen, die zusammen mit den Kernen das ganze Atom bilden. Einen solchen Zustands eines Elements, in dem Atomkerne und Elektronen getrennt „herumschwirren“, nennt man Plasma (was neben fest, flüssig und gasförmig als vierter Aggregatzustand bezeichnet wird). Mit solchen Plasmen haben wir es im Alltag dauernd zu tun. Zum Beispiel findet sich in der leuchtenden Neon-Röhre ein solches Plasma. Es hat immerhin eine Temperatur bis zu 20.000 Grad Celsius. Warum schmilzt dann nicht sofort die Glas-Ummantelung weg? Weil trotz der hohen Temperatur die Energie dieses Plasmas so gering ist, daß es die Glas-Ummantelung nicht beschädigen kann und sich die Neon-Röhre außen nur mäßig warm anfühlt.

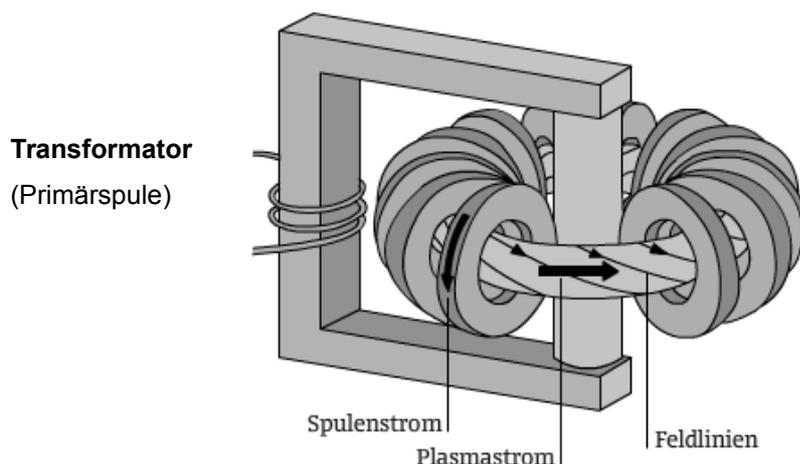
In einem Plasma wie in der Neon-Röhre verschmelzen die Atomkerne aber noch lange nicht. Dafür sind ganz andere Temperaturen nötig. Millionenfache Grade! Sie sind nötig, um die gegenseitige Abstoßungskraft der Atomkerne zu überwinden. Denn alle Atomkerne sind elektrisch positiv geladen. Weil sie Protonen enthalten, deren Ladung im ganzen Atom durch die Elektronen neutralisiert werden, die aber, wie gesagt, im Plasma vom Atomkern getrennt sind. Bei der Kernfusion auf der Sonne herrschen etwa 10 Millionen Grad. Aber auf der Sonne befindet sich das Plasma zugleich in einem so „komprimierten“, d.h. dichten Zustand, wie er bei der künstlichen Kernfusion nicht erreicht werden kann. Dabei sind mindestens 100 Millionen Grad nötig. Die sind aber erreichbar. (Es sollen sogar schon 400 Millionen Grad erreicht worden sein.<sup>14</sup>) Solch hohe Temperaturen können durch verschiedene Verfahren wie der Mikrowellen-Aufheizung erreicht werden, teils kombiniert mit einer elektromagnetischen Aufheizung.

---

<sup>14</sup> Laut Aussage einer Referentin im Fusions-Labor der Max-Planck-Gesellschaft in Greifswald, das derzeit einen größeren Reaktor nach dem weiter unten behandelten Stellartor-Konzept der Kernfusion aufbaut.

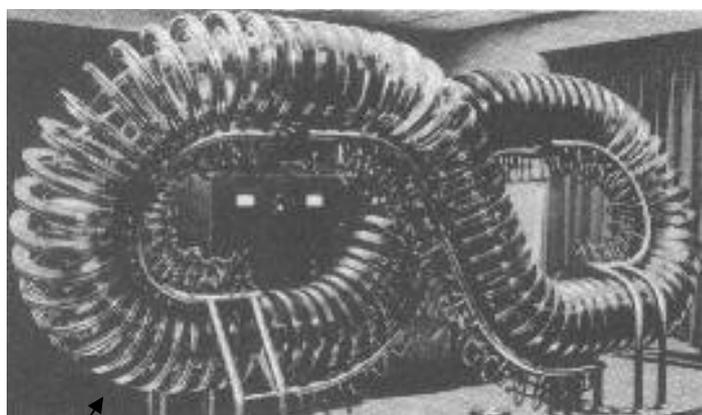
Aber damit ist es nicht getan. In einem Plasma bewegen sich aufgrund der Temperatur die Atomkerne. Aber sie bewegen sich ungeordnet in alle möglichen Richtungen und erreichen somit auch die Wand des Gefäßes, in dem sich das Plasma befindet. Und würden sie bei einer Temperatur von Millionen Grad natürlich sofort zerstören! Also muß man einen Weg finden, das Plasma so einzuschließen, daß es die Gefäßwand erst gar nicht erreicht. Der Weg ist der sogenannte magnetische Einschluß. Wenn man um ein Rohr eine Drahtspule wickelt, durch diese einen elektrischen Strom schickt, entsteht im Rohr ein Magnetfeld, welches die - ja elektrisch geladenen - Atomkerne in der Längsrichtung des Rohrs ausrichtet. (Genauer gesagt, umkreisen sie spiralförmig die Magnetfeld-Linien im Rohr.) Durch das Magnetfeld wird aus der ungeordneten Bewegung der Atomkerne eine geordnete von einem Ende des Rohrs zum anderen.

Aber so ein Rohr hat eben einen Anfang und ein Ende und begrenzt dadurch die Möglichkeiten, die Atomkerne in immer schnellere Bewegung zu bringen. In der Sowjetunion kamen 1952 Andrei Sacharow und Igor Jewgenjewitsch Tamm auf die Idee, das Rohr zu einem Kreis zu schließen und die von den Atomkernen zurücklegbare Strecke zu einer unendlichen zu machen. Das Ganze sieht dann wie ein Autoreifen aus, bei dem man sich das nun zum Rund geformte Rohr von vielen starken Magnetspulen umschlossen zu denken hat. So ein „Autoreifen“ hat aber zwei Durchmesser, einen inneren und einen größeren Außen-Durchmesser. Wenn sich die Atomkerne mit gleicher Geschwindigkeit bewegen, haben die am inneren kleineren Durchmesser ihren Rundlauf aber schneller hinter sich gebracht wie die Atomkerne am äußeren größeren Durchmesser. Das führt zu Störungen, Verwirbelungen des Plasmas, die nicht erwünscht sind. Also kombinierte man in der Sowjetunion das Ganze noch mit einem starken Transformator, der einen Strom im - elektrisch ja leitfähigen - Plasma (also quasi der Sekundärspule des Trafos) erzeugt und - zusammen mit weiteren äußeren Spulen (hier unten nicht eingezeichnet) - dafür sorgt, das sich das Plasma verdrillt. So wie man ein Wäschestück verdrillt, wenn man es auswringt. Dadurch gelangen die Atomkerne vom äußeren Durchmesser beim „Weiterfliegen“ in den inneren und die vom inneren Durchmesser in den äußeren usw. usw. Das Ganze ist, im groben dargestellt, das Tokamak-Prinzip.

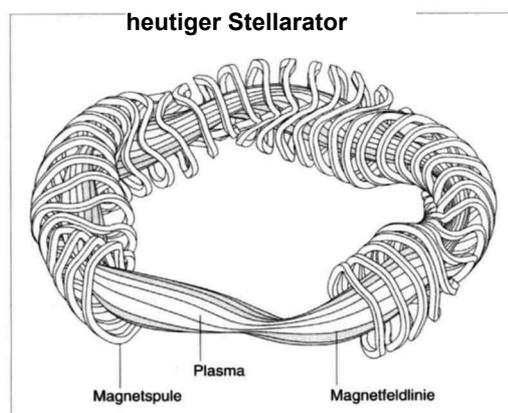


Das Tokamak-Prinzip hat einen Vorteil und einen Nachteil. Der Vorteil ist, daß im Plasma selbst ein elektrischer Strom erzeugt wird, der es schon einmal auf etwa 10 Millionen Grad aufheizt, so daß nicht so viel zusätzliche Aufheizung nötig ist. Das ist aber auch der Nachteil. Denn je heißer das Plasma ist, desto besser leitet es elektrischen Strom und desto mehr Strom braucht der Transformator. Da man den Primärstrom des Transformators jedoch nicht ständig steigern kann, muss dieser von Zeit zu Zeit abgeschaltet werden. Also Fusion ein, Fusion aus, Fusion wieder ein usw. usw. Wie gesagt: Auch beim geplanten Groß-Versuchs-Reaktor ITER rechnet man damit, bei der Dauer jedes Impulses auf „nur“ oder immerhin 300 Sekunden zu kommen. Es gibt natürlich Überlegungen, wie man das ausgleichen könnte. (Z.B. durch einen „nicht induktiven Stromtrieb“.) Sie sind aber nicht noch nicht erprobt.

Neben dem Tokamak gibt es aber noch ein anderes Prinzip, das die nötige „Verdrillung“ ohne zusätzliche Magneten erreicht und deswegen einen ununterbrochenen Betrieb gewährleisten soll. Ebenfalls schon in den 50er Jahren kam der Astrophysiker Lyman Spitzer in den USA auf eine Idee, auf die man auch beim Herumsitzen im Hotelzimmer kommen konnte: die Idee, den erwähnten „Autoreifen“ selbst einmal zu „verdrillen“, nämlich einfach zu einer liegenden Acht zu biegen. (Siehe linkes Bild) Auch dabei gelangen die Atomkerne vom äußeren Durchmesser in den inneren und wieder zurück in den äußeren. Und umgekehrt die Atomkerne vom inneren Durchmesser in den äußeren und wieder zurück in den inneren. Untersuchungen zeigten aber, dass der Plasmaeinschluß dabei nicht stabil ist. Heute arbeitet man bei diesem sogenannten Stellarator-Prinzip mit einer Art Verdrillung der Magnetspulen selbst, die das Plasma nach dem Vorbild des sogenannten Möbius-Bands formen. (S. rechtes Bild.) Was zum Teufel ist ein Möbius-Band? Man nehme einen Papierstreifen und klebe ihn an der Nahtstelle um 180 Grad verdreht zusammen. (<http://www.youtube.com/watch?v=21qgxi3Dw>)



Magnet-Spulen (im „Achter-Stellarator“)



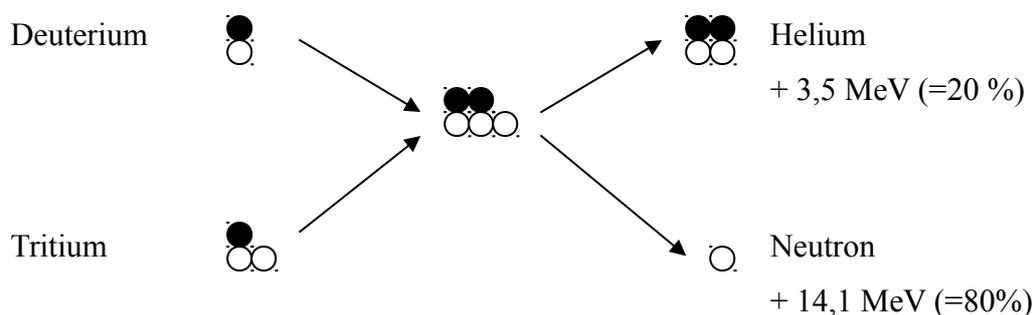
Die schematische Skizze eines Stellarators zeigt ein System aus nicht ebenen Einzelspulen. Ihre spezielle Form bewirkt die Drehung der Feldlinien um die Seele, ohne daß ein Strom im Plasma fließen muß.

So seltsam wie in der Zeichnung ausschauend fand ich auch die einzelnen und ganz kompliziert errechneten Magnetspulen im Versuchs-Stellarator, der sich in Greifswald bei der Max-Planck-Gesellschaft im Aufbau befindet und einen Fusionsbetrieb von einer halben

Stunde erreichen soll. Möglicherweise will der deutsche Imperialismus dadurch konkurrieren mit dem ebenfalls im Aufbau befindlichen ITER-Tokamak-Reaktor, aus dessen Finanzierung er sich zurückgezogen hat. Aber die BRD-Regierung hält auch die Mittel für Greifswald knapp (die wollten schon 2007 in Betrieb gehen), und ein nur etwas anderer Versuchsreaktor wird in Tokio schon seit 1998 betrieben (der „LHD“)! Und in Greifswald soll nur das Plasma erforscht werden, aber noch keine Kernfusion probiert werden. Der dafür heute für nötig gehaltene radioaktive überschwere Wasserstoff steht ihnen nicht einmal zur Verfügung.

Soweit die technische Seite der Kernfusion, jetzt kurz die physikalische.

Man kann sich durchaus mehrere Formen der Verschmelzung von Atomkernen denken. Heute wird aber wohl durchwegs wie bei der Wasserstoff-Bombe mit der Verschmelzung von Kernen des schweren Wasserstoffs (1 Proton und 1 Neutron), der im Wasser genug vorhanden ist, mit Kernen des überschweren Wasserstoffs (1 Proton und 2 Neutronen), im Wasser nur in Spuren vorhanden, zu Helium-Kernen gearbeitet. Da dieser aus 2 Protonen und nur 2 Neutronen besteht, wird also ein Neutron sozusagen frei. Die Energiebilanz dabei sieht so aus:



Die Energie bei den Helium-Kernen reicht aus, um die Fusion in Gang zu halten. Die wesentlich höhere Energie beim frei gesetzten Neutron (80 % der Gesamtenergie) kann und soll zur Erzeugung von elektrischem Strom genutzt werden. Denn das elektrisch neutrale Neutron wird nicht vom magnetischen Einschluß abgelenkt, sondern kann die Gefäßwand erreichen (an bestimmten dafür vorgesehenen Stellen), dort ein Kühlmittel so erhitzen, daß sich mit ihm bzw. über einen zweiten Kreislauf wie gehabt eine Turbine betreiben läßt. Das Tritium, der überschwere Wasserstoff, wird durch den Beschuß von Lithium mit den Neutronen im Reaktor übrigens selbst „ausgebrütet“, so daß auch daran kein Mangel besteht!

Wie gesagt: Eine Kettenreaktion gibt es hierbei nicht! Radioaktives Material kann es aber geben, mehr oder weniger, je nachdem aus welchem Stoff die Gefäßwand ausgeführt wird. Denn sie kann durch die Neutronen in gewissem Maße radioaktiv werden. Das sind dann aber

keine Halbwertszeiten von Tausenden oder mehr Jahren wie beim „Abfall“ der Kernspaltungsreaktoren, sondern Halbwertszeiten von einigen Jahren oder Jahrzehnten.

Im übrigen ist das Dargestellte nur die heutzutage bevorzugte Form einer Kernfusion. Es sind auch solche wie die von Deuterium mit Deuterium denkbar, bei denen kein Neutron freigesetzt wird, das die Gefäßwände beeinflussen kann, und die Abnahme der Wärme auf irgendeinem anderen Weg erfolgen würde.

\* \* \*

Wenn es die sozialistische Sowjetunion noch gäbe, hätten wir vielleicht schon eine nutzbare Form der Kernfusion. Und wenn noch nicht, würde daran fieberhaft gearbeitet, und zwar auf beiden Seiten des „Eisernen Vorhangs“. Und nicht so getrödeln wie heute. Ich weiß nicht, ob die USA an der „liegenden 8“ gearbeitet hätten, wenn die UdSSR nicht am „Tokamak“ gearbeitet hätte. Die „liegende 8“ war eine großartige Idee, für ein gleichmäßig rotierendes Plasma zu sorgen, aber sie bewährte sich in der Praxis nicht und feiert erst 50 Jahre später ihre Wiederauferstehung in Form neuzeitlicher „Stellaratoren“. Der „Tokamak“ hat sich dagegen nach seiner ersten Realisierung in der UdSSR weltweit durchgesetzt. Aber immer noch ist offen, welches der beiden Systeme, der „Tokamak“ oder der „Stellarator“, den „Sieg“ davontragen wird, oder ob es ein anderes sein wird. Ich behaupte: diese Frage wäre längst geklärt, wenn die UdSSR sozialistisch geblieben wäre und nicht seit Ende der 50er Jahre die Konterrevolution begonnen hätte, ein Drittel der Erde in den Kapitalismus zurückzuführen.<sup>15</sup>

Bedarf es noch eines Beweises für diese These? Beide, die USA und die UdSSR, hatten sich aus dem besiegten Hitlerdeutschland Experten für die Raketentechnik geholt. Die USA den in

---

<sup>15</sup> Es geht hier längst nicht mehr nur um wissenschaftliche Fragen. Sondern die Frage ist, wieviel die Gesellschaft dafür investieren will. **Vielleicht muß man einfach nur mehrere Tokamak-Reaktoren zu einem Kraftwerk zusammenschalten**, um die Impulse in einer Art Stafetten(kreis)lauf zu einem ununterbrochenen Betrieb zu verbinden. Wenn der Impuls des einen Tokamak sich seinem Ende zuneigt, wird rechtzeitig der nächste Tokamak „gezündet“. Usw. usw. Auch wenn Experten gesagt hätten: „Das kann nicht funktionieren“, wäre es in der UdSSR vielleicht probiert worden. Wenn sie noch die UdSSR zu Lebzeiten von J.W. Stalin gewesen wäre (was immer andere von ihm halten mögen). In der BRD hätte so ein Kraftwerk übrigens vielleicht schon die Größe, daß es ihren gesamten Strombedarf decken könnte. Aber in der imperialistischen BRD wird an so was nicht einmal gedacht. Nicht einmal von den Forschern! Zumindest ist mir davon nichts bekannt. Ein so großes Kraftwerk wäre auch ein Beitrag für den Weltfrieden! Wenn es Deutschland wieder nach dem großen Krieg gelüftet, würde eine Bombardierung dieses Kraftwerks genügen, um seine gesamte Stromversorgung lahm zu legen und es kriegsunfähig zu machen. Es ist nicht bekannt, ob und wie weit dies bei der „Energiewende“ zu Windrädern und anderen Kleinkraftwerken eine Rolle spielt. Bekannt ist nur, daß schon die Nazis wegen dem „Luftschutz“ für Klein- und Kleinstkraftwerke waren. <http://fs-et.iem.fh-lausitz.de/docs-all/233-060208-Geschichte-Elektrotechnik-Kapitel08.pdf>

der Tat sehr fähigen Raketenmanager Wernher von Braun, aber ihn nur an seiner V 2 weiter basteln lassen.<sup>16</sup> Bis die UdSSR ihren „Sputnik“ in den Weltraum schickte und das Piepsen dieses ersten die Erde umkreisenden Satelliten die USA aufschreckte und Herr von Braun soviel Mittel bekam, daß die USA den ersten Menschen auf den Mond schießen konnten, eine technische Meisterleistung von fragwürdigem wissenschaftlichen Wert. Es war also nicht nur so, daß der Sozialismus in seinem eigenen Land die Entwicklung der Technik vorantrieb, sondern er sorgte dafür, daß dies wegen dem „Wettbewerb der Systeme“ auch im noch kapitalistischen Teil der Welt geschah.

Wir reden hier von Groß- und nicht von Kleintechnologie wie den „Personal Computern“ und vielem mehr, die im Spätkapitalismus tatsächlich blüht und immer abstrusere Formen annimmt. Der Sozialismus hingegen zäumt das Pferd von vorne auf. Mit der Großtechnologie wird die notwendige Arbeit verringert und dann entschieden, wofür die gewonnene „disponible time“ genutzt wird; vielleicht auch für Computer ...<sup>17</sup> Alles Gerede von Erich Honnecker über die Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik – oder wie immer das hieß – war nichts weiter als ein Abweichen vom Primat der Großtechnologie, um im Konsumbereich mit dem Westen besser konkurrieren zu können – mit begrenztem Erfolg, wie es sich in der Bereitschaft zeigte, sich vom Westen annektieren zu lassen.<sup>18</sup>

Die Niederschlagung des Sozialismus ist ein Verbrechen an der Menschheit auch deswegen, weil sie einschließt ein Verbrechen an der Entwicklung der Naturwissenschaften, die der gesamten Menschheit ein besseres Leben verschaffen können. Wir tun also gut daran, dafür zu sorgen, daß Teile der Welt wieder rot werden, bis es einmal die ganze Erde sein wird. Unsere Aufgabe ist es, diesen Weg zu beschleunigen und zu verkürzen. Dazu imstande sind in erster Linie nicht die Naturwissenschaftler, sondern die wissenschaftlichen Sozialisten, wir Kommunisten. Interesse daran aber sollten nicht nur sie haben.

---

<sup>16</sup> Er ist übrigens eines der Vorbilder für den Dr. Strangelove („Merkwürdige Liebe“) in dem Film „Dr. Seltsam, oder wie ich lernte, die Bombe zu lieben“.

<sup>17</sup> Energie „schlummert“ in allem. Man kann aus einem Gramm eines Stoffs viel freisetzen (Atomenergie) oder wenig (Verstromung von Kohle). Aber die Summe von freigesetzter und „schlummernder“ Energie bleibt immer gleich. Nur das Verhältnis von freigesetzter und „schlummernder“ Energie ändert sich! Und die Arbeit? Ein Tag hat 24 Stunden, man kann daraus nicht mehr machen, aber man kann ihn so oder so einteilen. „... je weniger Zeit die Gesellschaft bedarf, um Weizen, Vieh etc. zu produzieren, desto mehr Zeit gewinnt sie zu anderer Produktion, materieller oder geistiger. (...) *Ökonomie der Zeit, darein löst sich schließlich alle Ökonomie auf.* (...) Ökonomie der Zeit, sowohl wie planmäßige Verteilung der Arbeitszeit auf die verschiedenen Zweige der Produktion, bleibt also erstes ökonomisches Gesetz auf Grundlage der gemeinschaftlichen Produktion.“ (Karl Marx, Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie, Berlin 1974, S. 89. Hervorhebung von mir.)

<sup>18</sup> Mit der „Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik“ vollzog sich Anfang der 70er Jahre der Wechsel von Walter Ulbricht zu Erich Honnecker und wurden Investitionsmittel aus der Wirtschaft in den Konsum gelenkt.