

Gert Blumenthal¹

Kernfusionsenergie – eine untaugliche Alternative²

1. Einleitung

Über die Perspektiven der Kernfusionsenergetik heute zu streiten, ist ziemlich unergiebig, denn es gibt zahlreiche ernstzunehmende Meinungen pro und contra, die man aber zum gegenwärtigen frühen Zeitpunkt kaum zu bewerten vermag. Die Thematik ist über alle Maßen komplex und erfordert neben Kenntnissen der Systemzusammenhänge zugleich die Fähigkeit, die vielfachen Verflechtungen zwischen den Disziplinen innerhalb der Wissenschaft sowie zwischen Wissenschaft, Technik, Politik und Gesellschaft annähernd zuverlässig beurteilen zu können. Derlei Diskussionen sollte der ‚Zukunftsforschung‘ überlassen bleiben, denen der Autor dieses Beitrages jedoch einigermaßen skeptisch gegenübersteht, weil Zukunft als weitgehend unbestimmt verstanden werden muß [1]. Daher fühlt er sich außerstande, sich detailliert zu Prognosen der Entwicklung von Kernfusionskraftwerken zu positionieren. Dennoch hält es der Autor für notwendig, einige Argumente zu untersuchen, die Kernfusionskraftwerke beharrlich als realistische Alternative für die Schließung von Versorgungslücken nach dem ‚peak oil‘ erscheinen lassen, sowie einige Informationsdefizite zu beheben, die in den Darlegungen der Befürworter dieser Technologie zu erkennen sind.

2. Allgemeine Probleme der Energieversorgung

Durch eine Vielzahl von Publikationen wird die geologisch-physikalisch basierte Erwartung gestützt, daß die Epoche der fossilen Energierohstoffe in diesem Jahrhundert zu Ende gehen wird. Dennoch gibt es bis zum heutigen Tag heftige, z.T. grundsätzliche Widersprüche gegen diese Feststellung, insbesondere von Energiekonzernen wie auch von den meisten der OPEC-Staaten. Die komplizierten Interessenlagen hinsichtlich der Zukunft des Öls sowie die vielfältigen Methoden der Manipulierung entsprechender Berichte und Prognosen wurden von Campbell et al. dargestellt [2]. Zuweilen wird die *Tatsache* des peak oil – d.h. des ‚Zeitpunktes‘ der weltweit maximalen Ölfördermenge pro Jahr [3], [4] – von bestimmten Interessengruppen noch immer als *Hypothese* diskriminiert. Es verwundert nicht, daß derartig kontroverse Aussagen die Öffentlichkeit verwirren, was notwendige Maßnahmen zur Vorsorge schon in der Gegenwart sowie für die Zeit nach dem Ende der Ölförderung mehr oder weniger verzögert.

1 Für Hinweise und Diskussionen dankt der Autor den Herren Dr. sc. nat. Peter Müller, Prof. Dr. Jürgen Schneider und Dr. sc. nat. Dietrich Spänkuch.

2 Erweiterte Versionen dieses Artikels sind zu finden unter
<http://www.schattenblick.de/infopool/umwelt/industri/uinfo262.html>
http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/Kernfusion_Blumenthal_11%2002%2009.pdf

Häufig wird dargelegt, daß der Nutzungszeitraum für fossile C-stämmige Rohstoffe primär dadurch beschränkt sei, daß sich die Ressourcen erschöpfen. Durch eine derartige Argumentation wird aber ein zeitlich näherliegender und nicht minder dramatischer Sachverhalt unterbewertet, daß nämlich die CO₂-Senken (aufwachsende Biomasse, Ozeane) zunehmend gesättigt sind, was die atmosphärische CO₂-Konzentration und damit die Klimaerwärmung weiter ansteigen läßt. Insofern müssen die anthropogenen CO₂-Emissionen drastisch vermindert werden, und zwar sofort, ohne abzuwarten, bis Kernfusionskraftwerke wirtschaftlich nutzbar werden – womit, wenn überhaupt, in diesem Jahrhundert kaum zu rechnen sein wird. Die Frist, in der sich ein zunehmender Mangel an fossilen Energierohstoffen entscheidend restriktiv auf die Weltwirtschaft auswirken wird, ist also nicht durch den ‚Zeitpunkt‘ der Ressourcenerschöpfung bestimmt (ein solcher ist praktisch nicht festzulegen!), sondern durch denjenigen des peak oil. Mit dem peak oil wird sich eine Schere öffnen zwischen dem weiter steigenden Energie-Weltjahresverbrauch und der sinkenden Öl-Weltjahresförderung.

In diesem Zusammenhang wird zuweilen das Schlagwort *Wasserstoffwirtschaft* eingeführt und diese als Alternative zur Energieversorgung auf der Grundlage von Öl, Gas und Kohle gepriesen. Es ist aber irreführend, den Sekundärenergieträger Wasserstoff als Alternative zu den Primärenergieträgern Öl, Gas und Kohle anzusehen. Entscheidend ist doch, aus welchen Primärenergieträgern der Wasserstoff gewonnen wird. Zukunftsfähig ist nur der ökoenergetisch, also bevorzugt mittels Solar- oder Windenergie, nicht aber der mit Hilfe der Fossil- oder Atomenergie erzeugte Wasserstoff. Trotz des scheinbar konsistenten Bildes von der ‚H₂-Revolution‘ [5] bleibt fragwürdig, den künftigen Energieverbrauch auf der Grundlage nur des einen Energieträgers Wasserstoff zu prognostizieren. Die suggerierte Einbahnstraße der Wasserstoffwirtschaft läßt den direkten Elektronentransport mittels Fernleitungen (einschließlich der Hochspannungsgleichstromübertragung, HGÜ) außer Betracht – was angesichts der schon länger laufenden Diskussion dieser Lösungsmöglichkeit (vorläufige Zusammenfassung [6]) befremdet und geeignet ist, dem Leser eine komplexreduzierte Sicht aufzudrängen.

Auch der flächendeckende Einsatz mobiler *Brennstoffzellen* ist so problemlos nicht, wie bisweilen dargestellt: So sind bei der unverzichtbaren langfristigen Massenverfügbarkeit von Platin wie auch bei der Herstellung kostengünstiger Membranen mit hohen Standzeiten (wie z.B. für die Direct Methanol Fuel Cell, DMFC unabdingbar) erhebliche Schwierigkeiten zu erwarten. Dem entspricht, daß für das Elektroauto neben der Brennstoffzelle zunehmend Hochleistungsbatterien in der Diskussion sind [7].

Manche Atomenergiebefürworter lassen die kaum überschätzbaren Möglichkeiten der *Energieeffizienzerhöhung* in Industrie, Verkehr und im Haushalt [8] außerhalb ihrer Betrachtung. Demgegenüber scheint sich immer deutlicher zu erweisen, daß die allseitige (energetische und stoffliche) Effizienzerhöhung die kostengünstigste Strategie ist, um CO₂-Emissionen zu mindern. Welch riesiges Potential allein in der Nutzung der allgemeinen Abwärme steckt (z.B. mittels Kraft-Wärme-Kopplung oder thermoelektrischer Generatoren, TEG), wird daran deutlich, daß in den USA gegenwärtig 65 % der eingesetzten Primärenergie als Abwärme verlorengehen [9], was in Europa nicht viel anders sein dürfte.

Eine unbedingt notwendige Einschränkung des individuellen Konsums in den Industrieländern mag auf den ersten Blick schwer vorzustellen sein, aber eine allgemeine Erhöhung der Energieeffizienz ist nach allen Erfahrungen des letzten Jahrhunderts zu erwarten, in dem in Deutschland eine Entkopplung des Wachstums von Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch eintrat. Zudem läßt sich auch der individuelle Umgang mit Energie und anderen sich verknappenden Gü-

tern durchaus mit staatlichen Fördermaßnahmen im erforderlichen Sinne beeinflussen. Das belegen der Photovoltaik-Boom als Folge des EEG, Wassereinsparungen durch Installierung von ‚Wasseruhren‘, Energieeinsparungen durch effizientere Haushaltgeräte, Beleuchtungsmittel u.a.m.

In manchen Publikationen ist zu lesen, daß der große Energiebedarf der Zukunft nur durch den Einsatz hochwirksamer Verfahren mit konzentrierter, steuerbarer Energieerzeugung gedeckt werden könne. Diese Meinung richtet sich gegen das Konzept der *Dezentralität* kleiner Wandlereinheiten (Windturbinen, Photovoltaikanlagen, Blockheizkraftwerke, Brennstoffzellen, Wärmepumpen u.a.) und vertritt damit die überholte Auffassung von der Unentbehrlichkeit der hochzentralisierten Energieversorgung. „...Mehr Energieangebot und immer größere Kraftwerke waren der Stolz ganzer Technikergenerationen. Der Gedanke, daß weniger mehr und profitabel sein kann, beginnt sich erst langsam durchzusetzen...“ [10]. – Aktuelle Erwägungen zum konträren Verhältnis Kernfusionstechnologie/Ökozeitalter lassen sich bei Spänkuch [11] nachlesen.

3. Realisierungszeitraum von Kernfusionsreaktoren

Die so genannte Kernfusionskonstante [12] zeigte im Verlaufe der vergangenen sechzig Jahre eine Tendenz zum Wachstum. Der Fertigstellungstermin eines Kernfusionskraftwerkes hat sich bisher als ein ‚moving target‘ erwiesen (anfänglich 10-20, heute 40-50 Jahre), ist aber womöglich nur eine langlebige, teure Illusion. Selbst gegenüber der Kernenergietechnik wohlwollende Autoren heben die Unsicherheit des Realisierungszeitraums hervor: „Eine kritische Frage betrifft den Zeithorizont für die Entwicklung eines Fusionkraftwerkes. In der Vergangenheit gab es wiederholt diesbezügliche Prognosen, die sich als grobe Fehleinschätzungen herausstellten“ [13]. Oder: „*Fusionsreaktoren*: Ohne Demonstrations-anlage (ITER) ist noch keine seriöse Prognose über Einsatzstrategien möglich“ [14].

Bei nahezu allen Entwicklungen moderner Großtechnik ist zu beobachten, daß der Einfluß wachsender *Komplexität* auf die Realisierung und den Betrieb unterschätzt wurde und weiterhin unterschätzt wird. Das mußte unlängst selbst für eine vermeintlich übersichtliche Aufgabe wie die Endlagersuche am Fall Asse II durch den zuständigen Bundesminister festgestellt werden. In wesentlich höherem Maße gilt das für die Fusionstechnologie. Die Komplexität kerntechnischer Anlagen hat vom Leichtwasserreaktor über den Schnellen Brüter bis hin zum prognostizierten Modell eines Fusionsreaktors zugenommen. So oder ähnlich sehen das selbst Befürworter der Fusionstechnologie: „Die weltweiten Forschungen zur gesteuerten Kernfusion sind eines der komplexesten und schwierigsten wissenschaftlichen und technischen Unternehmen, das die Menschheit für ausschließlich friedliche Zwecke in Angriff genommen hat. Der Ausgang ist noch ungewiß“ [15]. An anderer Stelle wird die Wechselwirkung zwischen Komplexität und Wirtschaftlichkeit hervorgehoben: „Dieser extreme Grad an Komplexität schlägt sich in extremen Kosten für den ITER nieder. Warum sollte das nicht auch für Fusionskraftwerke, wenn es sie denn geben sollte, zutreffen? Das hundertjährige Forschungsprogramm zeigt an, daß es sich um die komplexeste Technologie handelt, die je in Angriff genommen wurde“ [16].

Neuerdings erst wurden Kostenerhöhungen infolge technisch begründeter Umplanungen am ITER vermeldet [17]. Norbert Holtkamp, Principal Deputy Director-General der ITER Organisation, stellte auf dem 25. Symposium zur Fusionstechnologie in Rostock (15.-19.09.2008) fest, daß die 5,5 Mrd. Euro für ITER (45 % von der EU) in Cadarache um mindestens 10 %, möglicherweise sogar um 100 % steigen könnten [18]. Ob die Partner des ITER-Projekts (China, EU, Indien,

Japan, Rußland, Südkorea, USA) in gleicher Weise bereit und in der Lage sind, die erforderliche Beitragserhöhung zu leisten, und das auch noch unter den Zwängen der Weltwirtschaftskrise, bleibt abzuwarten. Fraglich ist auch, ob durch die Planänderungen nicht auch Planungszeiträume gedehnt werden, so daß der Zieltermin Ende 2018 für die erste Plasmazündung [19] gefährdet sein könnte. Wesentliche Kostenerhöhungen wie auch Zeitplankorrekturen sind jedoch neuerdings nach Holtkamp nicht zu erwarten [20]. „Wegen der Komplexität der wissenschaftlichen und technischen Problemstellung ist davon auszugehen, daß Kernfusion in den Zeiträumen bis ca. 2050 keinen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen leisten wird“ [21]. Und unbestritten ist, daß für die Zeit danach ein einziger Reaktor (und mehr könnte 2050 nicht zur Verfügung stehen) nicht zu einer nennenswerten Reduzierung der CO₂-Emission beizutragen vermag.

Der Zeitablauf bis zur Inbetriebnahme eines Fusionskraftwerks wird derzeit folgendermaßen geschätzt [22]: Inbetriebnahme ITER 2016. Laufzeit bis 2037. Parallel dazu Entwicklungsarbeiten für den Demonstrationsreaktor DEMO. Betrieb des DEMO bis 2055, im Erfolgsfall dann Beginn des Baus eines kommerziellen Fusionskraftwerks mit einem geschätzten Zeitaufwand von zwanzig Jahren. Als optimistische Prognose resultiert dann: Inbetriebnahme des ersten kommerziellen Fusionskraftwerks im Jahre 2075. Ein derartiges Fusionskraftwerk ist also vermutlich erst lange nach dem peak oil zu erwarten und sowohl für die Deckung der von einigen befürchteten Energielücke als auch für die baldestmögliche Minderung der CO₂-Emissionen uninteressant. Außerdem reichen die an einem einzelnen Kraftwerk gewonnenen Erfahrungen nicht aus als Beweis, daß Kernfusionskraftwerke die Energieversorgung der Menschheit flächendeckend übernehmen könnten.

4. Eigenschaften von Kernfusionskraftwerken

Visionen zur Kernfusion dienen gelegentlich als Argument zur Legitimierung der konventionellen Kernspaltungs-(d.h. Fissions-)kraftwerke im Sinne eines ‚Übergangs‘, einer ‚Brücke‘. Jeder Brückenbauer am Ufer eines sehr breiten Gewässers vergewissert sich vor Beginn des Baus zuerst, ob überhaupt ein anderes Ufer in der Nähe ist – und wenn ja, ob es erreichbar ist, welche baurelevanten Verhältnisse er dort antreffen wird und was der ‚ganze Spaß‘ dann kosten könnte. Erst wenn diese Fragen zweifelsfrei positiv beantwortet sind, beginnt man die Arbeiten. Im Falle der Fissionskraftwerke und deren Proliferation als Übergang zu Fusionskraftwerken wird der Gesellschaft jedoch eine Brücke ins Nirgendwo angepriesen. Dabei ist der neueste Statusreport über die Atomindustrie der Welt [22] geeignet, selbst bei Atomenergiebefürwortern Zweifel an der globalen Realisierbarkeit ihrer Ideen über eine ‚atomare Brücke‘ aufkommen zu lassen. Die Bedeutung dieses Reports charakterisiert Amory B. Lovins, Koautor von ‚Faktor vier‘, mit den Worten: „This authoritative analysis of the nuclear industry's sobering realities is a salutary antidote to irrational exuberance.“ (Prolog in [22]).

Fusionsreaktoren können als Rohstofflieferanten (Brüter) für Fissionskraftwerke dienen: „Rein rechnerisch könnte ein Fusionsreaktor Spaltreaktoren vergleichbarer Leistung mit Brennstoff versorgen“ [23]. Anhänger der Fusionstechnologie hören derartige Aussagen verständlicherweise nicht gern; daher erreichen diese kaum die Öffentlichkeit, denn bei einer solchen Möglichkeit könnte der Fusionsreaktor leicht als Hauptinstrument für die Atomwaffenproduktion erkannt werden. Zu bedenken ist ferner, daß der Fusionsreaktor einen immensen Wasserbedarf aufweist – und das bei global sinkenden Brauchwasserressourcen (!) – und daß sein Wirkungsgrad durch denjenigen des angeflanschten ‚Dampfkraftwerks‘ begrenzt würde.

Und auch dies: Militärische und geopolitische Interessen waren die Initiatoren der ‚zivilen‘ Nutzung der Kernspaltung und melden nun wieder ihre Ansprüche auch auf die militärischen Potentiale der Kernfusion an. In einem Strategiepapier einer EU-Kommission wird festgestellt, Trägheitsfusion (Fusion mit Laserbeschuß) „is linked to defense programmes rather than to energy research programmes“ [24]. Oder: „Die Laserfusion ist ein Paradebeispiel für die Janusköpfigkeit, mit der sich physikalische Forschung darbieten kann. Die Brennstoffkugelchen sind zugleich Energiepillen für den Fusionsreaktor und ‚Minibomben‘ für den Laborversuch“ [25]. Unter Atomenergiebefürwortern, ja selbst unter Atomenergiegegnern findet sich die Auffassung, daß die Bombe und das diesbezügliche technische Wissen nicht in die ‚falschen‘ Hände gelangen dürften. Doch welches sind die ‚richtigen‘ Hände für die Atombombe?

4.1 Steuerbarkeit des Kernfusionsreaktors

Es hat sich eingebürgert, die in einem Reaktor ablaufende Kernfusion als ‚gesteuert‘ oder ‚kontrolliert‘ von der in der Kernfusionsbombe (d.h. der Wasserstoffbombe) ungesteuert (explosionsartig) verlaufenden Reaktion zu unterscheiden. Das darf aber nicht so verstanden werden, daß die Leistung eines Kernfusionskraftwerks – dem jeweiligen Bedarf entsprechend – ‚steuerbar‘ sei. Fusionskraftwerke sind auf Grund ihrer energetischen Größe ausgesprochen träge. Sie fungieren als Grundlastkraftwerke, die stets mit gleicher Belastung gefahren werden. „Eine Form der künstlichen Kernfusion ist die unkontrollierte Kernfusion in der Wasserstoffbombe. Angestrebt wird die kontrollierte (gesteuerte) Kernfusion in Fusionsreaktoren...“ [26]. Um Verwechslungen zu vermeiden, sollte daher in Verbindung mit der zur Nutzenergieerzeugung betriebenen Kernfusion auf die Verwendung des Terminus ‚gesteuert‘ verzichtet werden.

4.2 Risiken des Kernfusionsreaktors

Ein Kernfusionsreaktor birgt nicht die von einem Fissionsreaktor bekannten Gefahrenquellen, dagegen andere, die mit hinreichender Sicherheit beherrscht werden müssen. U.a. ist für die supraleitenden Spulen des Reaktors ein unterbrechungsfreier Betrieb der Tiefkühlung zu garantieren, da eine plötzliche Überschreitung der Sprungtemperatur nahezu schlagartig eine Energie freisetzen würde, die etwa der Explosion von 6 t TNT entspräche [27]. Und nicht zuletzt ist als eines der wesentlichen Risiken der Kernfusionstechnologie die noch weitgehend unterschätzte *biologische Wirkung* von Tritium-Emissionen anzusehen, deren zuverlässige Rückhaltung unter den Bedingungen großtechnischer Anlagen erhebliche Schwierigkeiten bereiten dürfte.

4.2.1 Eigenschaften des Tritium

Tritium wird auf *natürliche* Weise in den obersten Atmosphärenschichten durch Einwirkung schneller Neutronen auf Stickstoffatome gebildet. Tritium ist radioaktiv und zerfällt unter β -Strahlung mit einer Halbwertszeit von 12,26 Jahren (Abklingdauer \approx 122 Jahre) in Helium-3 (^3He), ein nicht radioaktives Heliumisotop. Ein Teil dieses Tritiums gelangt mit dem Regen in die oberflächennahe Atmosphäre, in der sich eine Gleichgewichtskonzentration eingestellt hat. Tritium liegt in der Natur überwiegend in Form von tritiiertem Wasser (HTO) vor, daneben in Biomolekülen (durch Substitution von H-Atomen) und, in Spuren Mengen, als gasförmiges HT und T₂. Tritiierte Biomoleküle entstehen auch in der Photosynthese aus CO₂ und HTO.

Darüber hinaus wird Tritium in Fissionskraftwerken *technisch* generiert, ist dort im Abbrand an das Zirconium der Brennstoffhüllen gebunden, im Abwasser überwiegend als HTO enthalten und wird an die Atmosphäre abgegeben [28]. Verständlich, daß in der Umgebung solcher Kraftwerke

erhöhte Tritiumkonzentrationen gemessen werden. Beispielsweise wurden in Kanada bis zu einem Radius von 40 km um einen Fissionsreaktor stabil erhöhte Tritiumkonzentrationen in der Atmosphäre wie auch in bestimmten Lebensmitteln nachgewiesen [29].

4.2.2 Tritium im Organismus

In den menschlichen Organismus gelangt Tritium durch Ingestion (Nahrungsmittelaufnahme), Inhalation und Hautpermeation hauptsächlich als HTO, aber auch in Form tritierter Biomoleküle. Ein bis zwei Stunden nach Inkorporierung hat sich Tritium gleichmäßig über alle Körperflüssigkeiten verteilt. Die biologische Halbwertszeit T_b des Tritiums (die Zeit, während der nach einer einmalig inkorporierten Tritiummenge die Hälfte wieder ausgeschieden ist) beträgt beim Menschen 10 Tage (man findet auch die Angabe 19 Tage [30]), bei großen Säugern 1 Monat bis 1 Jahr. Als Parameter für die Bestahlungsdauer des Organismus wird die ‚effektive Halbwertszeit‘ T_{eff} verwendet. Bezeichnet T_{ph} die physikalische Halbwertszeit des Tritiums, so gilt:

$$T_{eff} = \frac{T_b * T_{ph}}{T_b + T_{ph}}$$

$$\text{Grenzfall 1 : } T_{ph} \gg T_b \text{ dann gilt : } T_{eff1} \approx T_b$$

$$\text{Grenzfall 2 : } T_{ph} \ll T_b \text{ dann gilt : } T_{eff2} \approx T_{ph}$$

Für die Expositionsdauer des Organismus gilt demnach: Bei Nukliden großer physikalischer Halbwertszeit ist die effektive Halbwertszeit ungefähr gleich der biologischen Halbwertszeit; bei kleiner physikalischer Halbwertszeit ist diese bestimmend. Für Tritium gilt: $T_{eff} = 18,9$ d (mit $T_b = 19$ d).

Beim Gebrauch des Begriffs ‚Halbwertszeit‘ ist jedoch zu bedenken: Die strahlenbiologische Bedeutung eines Radionuklids wird im allgemeinen durch dessen Halbwertszeit charakterisiert, was zuweilen zu dem Schluß führt, daß Nuklide mit kleinen Halbwertszeiten relativ ungefährlich seien (wenn bei ihrem Zerfall nicht gerade Nuklide mit längeren Halbwertszeiten entstehen). Die Halbwertszeit ist jedoch nur bei einer einmaligen, stoßartigen Exposition von entscheidender Bedeutung. In diesem Falle klingt danach die Aktivität des Nuklids ab, bis nach zehn Halbwertszeiten 99 % davon zerfallen sind. Erfolgt die Exposition dagegen rhythmisch, in kurzen Abständen (wie bei Bergleuten in Uranminen oder Beschäftigten in Atomenergieanlagen) oder gar kontinuierlich (wie in Häusern mit Radonzustrom aus dem Erdboden), ist die Halbwertszeit des belastenden Nuklids nicht mehr entscheidend, denn es baut sich dann im Organismus ein bestimmtes Gleichgewichtsniveau der Strahlenaktivität auf, die bei längerer Exposition mit hoher Wahrscheinlichkeit gesundheitliche Schäden bewirken kann. An größere Biomoleküle (z.B. DNA) gebundenes Tritium ist langfristiger im Körper fixiert als das in HTO. Bei Langzeit-Expositionen kann sich organisch gebundenes Tritium im Körper anreichern [31].

4.2.3 Sonderstellung des Tritiums

Tritium nimmt unter den Radionukliden eine Sonderstellung ein. Die komplexe Verflechtung seiner physikalischen, kernphysikalischen und chemischen Eigenschaften bewirkt, daß Tritium in unikatlicher Weise auf Biomoleküle wirkt. Es existiert kein zweites Radionuklid, das in derart viel-

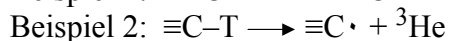
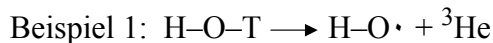
fältiger Weise mit Wasserstoffverbindungen reagiert. Tritium kann biologische Systeme in mindestens dreifacher Weise angreifen:

- **Der Isotopieeffekt**

Gebundene H-Atome in Kontakt mit Tritium unterliegen einem schnellen Isotopenaustausch (Tritiierung) [32]. Das betrifft H-Atome in Wassermolekülen (die dabei in HTO übergehen), aber auch in größeren Biomolekülen (z.B. DNA oder Proteine). Dadurch wird die Reaktionskinetik des tritiierten (schwereren) Moleküls verändert („Isotopieeffekt“), was in biochemischen Reaktionszyklen zu Störungen führen kann. Isotopieeffekte sind bei Tritium am stärksten ausgeprägt, denn es gibt kein anderes chemisches Element, bei dem der Quotient aus den Massenzahlen des schwersten und des leichtesten Isotops so groß ist wie bei dem Element Wasserstoff: $m_T/m_H = 3$.

- **Die Tritium/Helium-Umwandlung**

Ein für Tritium spezifischer Strukturdefekt tritt ein, wenn ein gebundenes Tritiumatom infolge einer Kernumwandlung in ^3He (nichtradioaktiv) übergeht. Dieses als chemisch inaktives Edelgasatom verläßt das System unter Mitnahme eines Bindungselektrons der ursprünglichen (–O–T)- bzw. (–C–T)-Bindung, so daß eine radikalische Spezies (ein Molekül mit einem einsamen Elektron) hinterbleibt:



Die weiteren Umsetzungen dieser sehr aktiven Reaktanden können zu anderen Radikalen, zu Makroradikalen, zu Wasserstoffperoxid und anderen Oxidationsprodukten sowie zur Bildung von Doppelbindungen führen.

- **Die Strahlenwirkung**

Die β -Strahlung des Tritiums kann an Atomen Anregungen von Elektronen bis zu Ionisierungen und darüber hinaus Radiolysen chemischer Bindungen (Bindungsbrüche, z.B. DNA-Strangbrüche) bewirken. Hierbei entstehen u.a. hochreaktive Radikale, z.B. $\text{H}\cdot$ -, Hydroxid- und Hyperoxidanion-Radikale, $\text{HO}\cdot$ und $\text{O}_2\cdot^-$, sowie weitere Produkte (z.B. Wasserstoffperoxid), die zerstörerisch auf Biomoleküle (Purinbasen, Ribose, Enzyme) und Membranen sowie auch genotoxisch wirken [33]. Sowohl die β -Strahlung als auch die Radikalbildung infolge des Austritts von ^3He -Atomen haben carcinogenes Potential. Behandlung von Mäusen mit Tritium löste bei diesen Krebs aus [34]. Zu berücksichtigen ist weiterhin, daß atmosphärischer Sauerstoff unter Wirkung der β -Strahlung des Tritiums zu Ozon O_3 reagiert.

Diese Mechanismen legen zumindest zwei Folgerungen nahe:

- Die biologische Wirkung von Tritium beschränkt sich nicht auf strahlenbiologische Effekte und ist demzufolge wahrscheinlich (nicht nur für den Menschen) schädlicher als bisher angenommen. Schon vor diesen Betrachtungen des Autors konstatierten Strahlenbiologen, daß in den bisherigen offiziellen Modellen die durch Tritium bedingten Risiken unterschätzt werden [35], [36].
- Die bisherigen Schlußfolgerungen aus der Personendosimetrie des Tritiums sind zu hinterfragen [37].

Dem Prinzip der ökologischen Vorsorge folgend, dürfen die genannten Risiken in Publikationen zur Kernfusionstechnologie keinesfalls verschwiegen werden. Bereits ein knapper Hinweis auf die mit Fusionsreaktoren verbundene Generierung und potentielle Gefährlichkeit von Tritium

(wie etwa bei Lingertat [38]) könnte die Aufmerksamkeit der interessierten Öffentlichkeit darauf lenken, daß hier für Organismen wahrscheinlich ein essentielles Problem zu erwarten ist.

5. Gesellschaftliche Auswirkungen von Kernfusionskraftwerken

„Wenn es ein Aufwärts gibt in der Emanzipation der Menschheit, dann ist die Macht der Monopole zu beseitigen, vorrangig solcher, die Existentielles monopolisieren – Energie, Rohstoffe, Boden und Trinkwasser. Das würde Wege öffnen, die bei systemischer Vernetzung zu weitgehender Dezentralisierung und Regionalisierung führen. Kernfission und, noch ausgeprägter, Kernfusion sind aber der Gipfel der wirtschaftlichen und damit politischen Konzentration und Machtausübung.“ [39]. Prägnanter formuliert: Kernfusionskraftwerke sind Energie- und *Machtzentralen* äußerster Komplexität.

So ist auf der Grundlage mit konventionellen Kernkraftwerken gesammelter Erfahrungen zu bezweifeln, daß die Kernfusionstechnologie geeignet ist, die bestehenden Nord-Süd-Disparitäten zu mildern. Sie wäre und bliebe eine Technologie für industrialisierte Länder, die diese Technologie nur dort installieren würde, wo Profit garantiert – und damit ihre globale Macht weiter gefestigt würde. Nicht zu vergessen: Jeder Fusionsreaktor wird vom Zugriff auf Technologien zur Produktion von hochreinem Lithium, hochreinem Deuterium abhängig sein, ebenso von Sonderwerkstoffen, die für die Blankets, die Divertoren, das Supraleitungssystem u.a. erforderlich sind – sämtlich Hochtechnologien, die in der Verfügungsgewalt der industriell höchstentwickelten Länder liegen.

Zuweilen wird erwartet, daß das Konsumniveau der Schwellen- und Entwicklungsländer sich dem heutigen der Industrieländer angleichen würde und der daraus resultierende steigende Energieverbrauch nur mit Hilfe der Kernfusion befriedigt werden könne. Aus Bilanzgründen ist jedoch unmöglich, das Konsumniveau der Entwicklungsländer auf das gegenwärtige der Industrieländer zu heben, denn die Aufnahmefähigkeit der Umwelt für Schadstoffe nimmt rapide ab (Sättigung der Senken, wie sie gegenwärtig in der öffentlichen Diskussion fast ausschließlich auf CO₂ fokussiert wird), und die Ressourcen – zunächst Öl, Gas, Uran, Kohle und Wasser, danach bestimmte mineralische Rohstoffe, wie Phosphate und Platinmetallerze – nähern sich der Erschöpfung.

In manchen atomenergiefreundlichen Publikationen fällt auf, wie konsequent deren Verfasser Erwägungen über gesellschaftliche, soziale und politische Konsequenzen einer installierten Fusions-technologie umgehen. Diese Haltung läuft Gefahr, die Komplexität des Themas nicht in dem notwendigen Maße deutlich werden zu lassen. Man kann heute indes nicht mehr über Energieversorgung diskutieren, ohne zugleich die nichttechnischen Implikationen zu bedenken. Enthält man sich dessen, wird es kaum möglich, die Aussichten der Kernfusionstechnologie wissenschaftlich abzuschätzen. – Zusammenstellungen von Grundproblemen auf dem Weg zu einem Fusionskraftwerk geben Bradshaw [40] und Heinloth [41].

6. Schlußbetrachtungen

Die Probleme der zukünftigen Energieversorgung sind auf Grund zahlreicher Wirkungsgrößen, deren wechselseitiger Abhängigkeiten sowie unterschiedlicher Interessen schwer überschaubar geworden. Daraus ergibt sich eine besondere Verantwortung der Wissenschaftler, über erkannte, erkennbare und mögliche Konsequenzen – Chancen wie Gefahren – aufzuklären.

Bei allen Schwierigkeiten einer solchen Forderung sollten dabei einige ‚Leitplanken‘ beachtet werden:

- Sachlich *umfassende Information* über die vermeintlichen Vor- und Nachteile des fraglichen Energiesystems und *differenzierende Gewichtung* der anzunehmenden Entwicklung der einzelnen Komponenten.
- Sorgfältige *Beachtung der vielfältigen Verflechtungen*, wie sie für ein komplexes System, als das ein globales Energieversorgungssystem anzusehen ist, wesenseigen und bestimmend sind.
- Sachlich *richtige Darstellung* der aktuellen und absehbaren Eigenschaften konkurrierender Energieversorgungssysteme.

Ein interessantes wissenschaftspsychologisches Phänomen, „...eine erstaunliche kognitive Dissonanz...“ [42], ist in der Haltung mancher Naturwissenschaftler zur Kernfusion zu beobachten: Sie räumen zwar ein, daß es bis zur Realisierung des Kernfusionreaktors noch viele schwierige Probleme zu lösen gilt, sind aber optimistisch, daß das – wegen der zu erwartenden Fortschritte in Wissenschaft und Technik – auch in einem absehbaren Zeitraum gelingen wird. Im Gegensatz dazu rechnen diese Optimisten kaum mit grundlegenden Fortschritten bei der Forschung auf dem Gebiet der Ökoenergien, obwohl und gerade hier seit Jahren erhebliche technisch nutzbare und schnell wachsende Kapazitäten zu registrieren und die Zielstellungen für Weiterentwicklungen klar erkennbar sind – unbeschadet der gewiß auch auf diesem Gebiet zu erwartenden, unvorhersehbaren und prinzipiell neuen Lösungen. Hinzu kommt, daß im Vergleich mit einem Kernfusionskraftwerk alle Ökonergie-Wandlersysteme vergleichsweise einfach und transparent aufgebaut sind, einer traditionell beherrschten Technik gehorchen und zuverlässig, jedenfalls katastrophenfrei funktionieren.

Die als nahezu unüberwindlich erscheinende Macht der „stillschweigenden Infrastruktur“ (David Bohm) läßt manchen Naturwissenschaftler am überkommenen System der *zentralisierten* Energieversorgung festhalten. Deren ‚neue‘ Ideen sind konservativen Gewohnheiten verhaftet. Ein nichtkonservativ strukturiertes, *dezentralisiertes* System liegt außerhalb dieser Denkmuster. Dabei hat die Welt aus der Entwicklung der Informationstechnologie bis hin zum WorldWideWeb längst gelernt, welche grundlegenden Vorzüge und Potentiale eine Dezentralisierung zu nutzen gestattet: Mit der Dezentralisierung wird die Energieversorgung demokratisiert (weil nicht monopolisiert) und damit zugleich die Ökotechnik gefördert, die schließlich weltweit, also auch in Entwicklungsländern einsetzbar und militärisch kaum zu mißbrauchen ist.

In Atomenergie-Apologien werden zumeist Probleme, Schwierigkeiten und Unwägbarkeiten auf dem Weg zur eventuellen Realisierung von Fusionskraftwerken wie auch bei deren Betrieb kaum benannt, zumindest aber abgemindert. Andererseits bleibt die sich schon heute abzeichnende Vielfalt möglicher Wege einer zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung auf der Basis der so genannten Ökoenergien unberücksichtigt. Der Optimismus hinsichtlich der Kernfusionstechnologie ist auffallend, hat offensichtlich seine Wurzeln in der Technikgläubigkeit der fünfziger Jahre des letzten Jahrhunderts und ähnelt den von John D. Bernal vor 1958 vertretenen Auffassungen. Doch bei all seiner Begeisterung für die Atomenergie behielt Bernal auch in diesem Kontext seine wissenschaftliche Kritikfähigkeit [43] – eine wissenschaftsethische Haltung, die manchem der heute verantwortlichen Wissenschaftler und Techniker zu wünschen wäre.

Literatur

- [1] Anders verhält es sich mit Disputen über Fissionskraftwerke (Atomkraftwerke), weil mit dieser Technik seit sechzig Jahren Erfahrungen im praktischen Betrieb gesammelt werden konnten. Die Namen Windscale, Sellafield, La Hague, Harrisburg, Tschernobyl, Kalkar, Superphenix, Krümmel u.a. sind heute selbst vielen Nichtwissenschaftlern wohlvertraut.
- [2] Colin J. Campbell, Frauke Liesenborghs, Jörg Schindler und Werner Zittel: „Ölwechsel! – Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft“; Deutscher Taschenbuch Verlag München 2003, S. 178-185
- [3] Colin J. Campbell, Frauke Liesenborghs, Jörg Schindler und Werner Zittel, „Ölwechsel! – Das Ende des Erdölzeitalters und die Weichenstellung für die Zukunft“; Deutscher Taschenbuch Verlag München 2003., S. 73 ff und 184/185
- [4] Gert Blumenthal, Rezension zu Colin J. Campbell et al., l. c.; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 68 (2004), 145-151
- [5] Jeremy Rifkin: „Die H₂-Revolution“; Campus Verlag Frankfurt/New York 2002, 304 S.
- [6] Ulf Bossel: „Wasserstoff- oder Elektronenwirtschaft?“; Solarzeitalter 1/2006, 65-68
- [7] August Raggam und Klaus Faißner: „Zukunft ohne Öl – Lösungen für Verkehr, Wärme und Strom“; Leopold Stocker Verlag, Graz/Stuttgart 2008, 135 S.
- [8] Ernst Ulrich von Weizsäcker, Amory B. Lovins und L. Hunter Lovins: „Faktor vier“; Droemersch Verlag Th. Knaur Nachf., München 1997, 352 S.
- [9] Sabine Schlecht: „Thermoelektrische Energiewandlung: Energierecycling für Kraftfahrzeuge und Körperwärme“, Vortrag in der Reihe „Erneuerbare Energien – Wissenschaft, Vermittlung, Verantwortung“; Freie Universität Berlin, Institut für Chemie und Biochemie, 29.10.2008, <http://idw-online.de/pages/de/news?print=1&id=280410>
- [10] Peter Henicke: „Der Bau von Einsparkraftwerken mit Least-Cost Planning“; Spektrum der Wissenschaft, Dossier 5: Klima und Energie, 1996, S. 115
- [11] Dietrich Spänkuch: „Bemerkungen zu Lothar Kolditz ‚Energiebedarf und das Ende der Ölzeit‘“, <http://www2.rz.hu-berlin.de/leibniz-sozietat>, November 2008
- [12] Alexander Bradshaw in feiner Selbstironie: Jeweils prognostizierter Zeitraum bis zur Realisierung eines Kernfusionskraftwerkes. Alexander Bradshaw: „Kernfusion – ITER“; Vortrag Berlin Magnushaus 17.02.2004
- [13] Johann Lingertat: „Gesteuerte Kernfusion“; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, 82 (2005), 109
- [14] Karl F. Alexander: „Perspektiven der Kernenergie für eine nachhaltige Versorgung der Menschheit mit Energie“; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, 82 (2005), 82
- [15] Johann Lingertat: „Gesteuerte Kernfusion“; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, 82 (2005), 110
- [16] Klaus Traube und Hermann Scheer: „Kernspaltung, Kernfusion, Sonnenenergie – Stadien eines Lernprozesses“; Solarzeitalter 2/98, S. 34
- [17] Matthias Brake: „ITER auf der Kippe“; Telepolis, 16.09.2008, <http://www.heise.de/tp/blogs/2/115986>
- [18] „Fusionsreaktor Iter wird deutlich teurer“ (15.09.2008); Handelsblatt.com vom 11.02.2009, <http://www.handelsblatt.com/technologie/forschung/fusionsreaktor-iter-wird-deutlich-teurer;2040547>
- [19] „The ITER Project“, http://www.iter.org/a/index_nav_1.htm
- [20] Norbert Holtkamp, „ITER: Energie aus Kernfusion“, Vortrag; Deutsche Physikalische Gesellschaft, Magnus-Haus Berlin, 10.02.2009

- [21] Enquete Kommission des Deutschen Bundestages: „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, „Mehr Zukunft für die Erde“; Economica Verlag Heidelberg 1995, zitiert in: Bernd Diekmann und Klaus Heinloth: „Energie – Physikalische Grundlagen ihrer Erzeugung, Umwandlung und Nutzung“; B. G. Teubner Stuttgart 1997, S. 302/303
- [22] Mycle Schneider and Antony Froggatt: „The World Nuclear Industry Status Report 2007“; The Greens – European Free Alliance in the European Parliament, Brüssel, London, Paris, Januar 2008,
http://www.greensefa.org/cms/topics/dokbin/206/206749.the_world_nuclear_industry_status_report@en.pdf
- [23] Bernd Diekmann und Klaus Heinloth, „Energie – Physikalische Grundlagen ihrer Erzeugung, Umwandlung und Nutzung“; B. G. Teubner Stuttgart 1997, S. 299
- [24] zitiert in: Klaus Traube und Hermann Scheer, „Kernspaltung, Kernfusion, Sonnenenergie – Stadien eines Lernprozesses“; Solarzeitalter 2/98, S. 37
- [25] Hans-Stephan Bosch und Alexander Bradshaw: „Kernfusion als Energiequelle der Zukunft“; Physikalische Blätter 57 (2001) Nr. 11, S. 56
- [26] PC-Bibliothek 3.0; Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 1993-2001
- [27] Bernd Diekmann und Klaus Heinloth, „Energie – Physikalische Grundlagen ihrer Erzeugung, Umwandlung und Nutzung“; B. G. Teubner Stuttgart 1997, S. 299
- [28] Karl Heinz Büchel, Hans-Heinrich Moretto und Peter Woditsch: „Industrielle Anorganische Chemie“; Wiley-VCH Weinheim u.a., 1999, S. 650 und 652
- [29] Ian Fairlie: „A possible mechanism for the KiKK findings of increased childhood cancers near NPPs in Germany“, Gesellschaft für Strahlenschutz e. V., Symposium Umweltmedizin: Evidenz – Kontroverse – Konsequenz, 28. September 2008; Charité Berlin, Tagungsprogramm, S. 28-33, und Vortrag,
http://www.strahlentelex.de/kinderkrebs_um_atomkraftwerke.htm
- [30] Günter Fellenberg: „Chemie der Umweltbelastung“; B. G. Teubner Stuttgart 1997, S. 241
- [31] Inge Schmitz-Feuerhake: „Bewertung neuer Dosisfaktoren“; Berichte des Otto Hug Strahlensinstituts, Nr. 21-22 (2000), S. 67
- [32] Dieter Naumann: „Allgemeine und angewandte Radiochemie“; Akademie-Verlag Berlin 1962, S. 124/125
- [33] Rainer Braun, Günter Fred Fuhrmann, Wolfgang Legrum und Christian Steffen: „Spezielle Toxikologie für Chemiker“; B. G. Teubner Stuttgart 1999, S. 171 ff.
- [34] Ian Fairlie: „A possible mechanism for the KiKK findings of increased childhood cancers near NPPs in Germany“, Gesellschaft für Strahlenschutz e. V., Symposium Umweltmedizin: Evidenz – Kontroverse – Konsequenz, 28. September 2008; Charité Berlin, Vortrag
- [35] Ian Fairlie: „A possible mechanism for the KiKK findings of increased childhood cancers near NPPs in Germany“, Gesellschaft für Strahlenschutz e. V., Symposium Umweltmedizin: Evidenz – Kontroverse – Konsequenz, 28. September 2008; Charité Berlin, Tagungsprogramm, S. 32-33
- [36] Documents of the Health Protection Agency, Radiation, Chemical and Environmental Hazards: „Review of Risks from Tritium“; Report of the independent Advisory Group on Ionising Radiation (AGIR), London, November 2007, 104 S.,
http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1197382221858
- [37] Inge Schmitz-Feuerhake, „Bewertung neuer Dosisfaktoren“; Berichte des Otto Hug Strahlensinstituts, Nr. 21-22 (2000), S. 66-72
- [38] Johann Lingertat, „Gesteuerte Kernfusion“; Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, 82 (2005), S. 108

- [39] Gert Blumenthal: „Die Energieversorgung der Zukunft – nachhaltig oder nuklear?“, Solarzeitalter 1/2008, S. 37
- [40] Alexander Bradshaw, Anhörung Kernfusion im Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages am 28.3.2001, 55 S.
http://www.ipp.mpg.de/ippcms/de/presse/pi/images/bt_28_03_01.pdf
- [41] Klaus Heinloth: „Die Energiefrage – Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten“, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden, 2003, S. 285/298
- [42] Peter Hennicke, „Der Bau von Einsparkraftwerken mit Least-Cost Planning“, Spektrum der Wissenschaft, Dossier 5: Klima und Energie, 1996, S. 115
- [43] John D. Bernal: „Welt ohne Krieg“, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1960, S. 86

[30.03.09]

Anschrift des Autors:

Dr. sc. nat. Gert Blumenthal
Salzmannstraße 31
D – 10319 Berlin
gertblumenthal@arcor.de