

Wasserstofftechnik und Hochtemperaturreaktor

Sigurd Schulien, Wiesbaden *)

1 Einleitung

Es ist immer riskant, über Fragen der Energieversorgung zu sprechen, weil hier technische und politische Probleme verquickt und die möglichen Missverständnisse unbegrenzt sind. In den AGAFE - Mitteilungen 2/2001 [5]. habe ich versucht zu erklären, welche Funktion das Erdöl hat, um die Welt zu beherrschen und auszubeuten. In dieser Betrachtung werde ich versuchen, einen Weg aufzuzeigen, wie man sich aus der Erpressung mit dem Erdöl befreien kann, nämlich durch die Wasserstofftechnik in Verbindung mit regenerativen Energien und dem Hochtemperaturreaktor.

Welche Alternativen gibt es zum Erdöl? Auf Dauer nur die Wasserstofftechnik und die mit ihr zusammenhängenden Techniken.

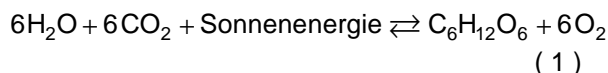
Die in Deutschland entwickelte Technik zur Kohleverflüssigung war für die Herren des Erdöls eines der Haupthindernisse auf dem Weg zur Weltherrschaft. In diesem Artikel soll der Zusammenhang zwischen Kohleverflüssigung, Wasserstofftechnik und Hochtemperaturreaktor erläutert werden. Da die Mächtigen dieser Welt auf Erdöl und Erdgas setzen, wird verständlich, warum die Kohleverflüssigung eingestellt, die Entwicklung des Hochtemperaturreaktors abgebrochen wurde und die Wasserstofftechnik nicht im gebotenen Maße gefördert wird.

2 Die Wasserstofftechnik

Ohne Energiezufuhr ist kein Leben auf der Erde möglich. Die Energieversorgung der belebten Natur basiert auf der Zersetzung von Wasser in den Pflanzen durch Sonnenlicht, wobei Wasserstoff und Sauerstoff entstehen. Wenn Energie benötigt wird, rekombinieren die beiden Gase wieder zu Wasser, wobei Energie frei gesetzt wird. Als Speichermedien für den Wasserstoff dienen Kohlenwasserstoffe wie Zucker, Fette u.ä. Diese Technik ist im Verlaufe der Erdentwicklung entstanden und von der Natur in Milliarden Jahren zu großartiger Vollkommenheit, die der Mensch noch nicht ganz verstanden hat, entwickelt worden. Ein vereinfachtes Beispiel aus dem Pflanzenreich erläutert den Vorgang:

Ein Baum nimmt Wasser durch die Wurzeln auf. Dieses Wasser wird zu den Blättern transportiert. Durch Sonnenlicht kann das Wasser dort in Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt werden. Der Sauerstoff geht durch die Blattoberfläche an die Luft. Der Wasserstoff reagiert mit dem Kohlendioxid der Atmosphäre – das CO₂ wird durch die Blätter aufgenommen – und bildet Kohlenwasserstoffe wie

Zucker, Fette usw. Den Vorgang kann man vereinfacht darstellen durch die chemische Reaktion



d.h. Wasser und Kohlendioxid reagieren unter Lichteinwirkung zu Glucose und Sauerstoff. Glucose (C₆H₁₂O₆) dient als Speicher für die Sonnenenergie. Dieser Zucker ist normalerweise im Samen gespeichert. Der Samen braucht die gespeicherte Sonnenenergie, da er meist im Erdreich bei fehlendem Sonnenlicht anwächst. Auch die menschliche Energieversorgung ist durch die Formel (1) beschrieben, wenn man sie von rechts nach links liest: Zucker, durch den Verdauungstrakt aufgenommen, und Sauerstoff, durch die Lunge aufgenommen, reagieren im menschlichen Organismus zu Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂), wobei die zum Leben nötige Energie frei wird. Aus dem Glucosemolekül wird in der menschlichen Zelle durch einen sinnreichen Mechanismus Wasserstoff abgespalten, der mit dem Sauerstoff aus der Lunge zu Wasser reagiert (Knallgasreaktion).

Die Wasserstoff-Energietechnik basiert auf dem gleichen Prinzip der Zersetzung von Wasser in die Gase Wasserstoff und Sauerstoff, sowie deren Speicherung und Rekombination zu Wasser, wenn Energie benötigt wird. Die zur Zersetzung des Wassers nötige Energie kann auf verschiedene Weise zugeführt werden: Als Sonnenenergie in der Natur, als elektrische Energie im Elektrolyseur, als Wärmeenergie usf. In der Wasserstoffenergie-technik sind folgende Methoden zur Wasserstoffherstellung denkbar:

1. Wasserzersetzung durch Elektrolyse für kleine Energieanlagen (Leistung bis einige 100 kW) [1].
2. Wasserstofferzeugung durch Biomasse- und Holzvergasung für größere Anlagen (ab 10 MW) [2].
3. Wasserstofferzeugung durch Methanspaltung (CH₄ + H₂O ⇌ CO + 3H₂) bei ca. 900 °C mittels eines Hochtemperaturreaktors für große Anlagen (Leistung ab ca. 100 MW). Der Wasserstoff kann hier nach bekannten Verfahren der chemischen Technik gewonnen werden, das Synthesegas (CO + H₂) oder der Wasserstoff energetisch oder chemisch – z.B. zur Methanolsynthese – genutzt werden [3].

Diese drei Methoden werden in der Zukunft für die Wasserstofferzeugung für die neue Energietechnik eingesetzt werden. Bei allen drei Methoden sind noch Entwicklungsarbeiten zu leisten. Der

Leistungsbereich bei den drei erwähnten Verfahren kann durch zukünftige Entwicklungen erheblich verändert werden. So ist es z.B. denkbar, dass man GroÙelektrolyseure baut, wenn auf Grund neuer Entwicklungen bei den Solarzellen billiger Strom für die Elektrolyse zur Verfügung steht. Dann kann eventuell auf den Hochtemperaturreaktor (HTR) verzichtet werden. Als Übergangslösung für die Energiegewinnung bei der realen oder politischen Verknappung des Erdöls ist der HTR aber unersetzlich.

Der Wasserstoff kann alle Anwendungen von Erdgas ersetzen. In Heizungen kann mit ihm Wärme, in Brennstoffzellen elektrische Energie erzeugt werden. Er kann zum Antrieb von Motoren dienen, durch Verbindung mit Kohlendioxid reagiert er zu Methanol, einem flüssigen Energieträger für viele Anwendungen. Bei der Wasserelektrolyse entsteht neben Wasserstoff das Gas Sauerstoff, das in Kläranlagen zum Abbau von organischen Verunreinigungen im Abwasser (s. Gl. (1) von links nach rechts gelesen), Fischzuchtanstalten usf. verwendet werden kann.

Die erste Methode - Wasserzersetzung durch Wasserelektrolyse - eignet sich für kleinere dezentrale Energie- und Gasversorgungsanlagen in abgelegenen Gebieten. Das Verfahren und seine Möglichkeiten sind in [1] beschrieben. Für mittelgroÙe Energieversorgungsanlage eignet sich die Biomassevergasung [2]. In Industriestaaten mit ihren riesigen Fabrikkomplexen und ausgebauter Verkehrsinfrastruktur sind kleinere Energieversorgungssysteme technisch nicht sinnvoll. Das gleiche gilt für die Ballungszentren in den Entwicklungsländern mit ihren Megastädten. Hier muss die Wasserstoffherzeugung zunächst durch Hochtemperaturreaktoren [3] erfolgen.

Nun ist gerade in unserem Lande die Kernreakorteknik sehr umstritten – aus politischen Gründen, nicht aus technischen wohl gemerkt. Die Reaktorteknik gilt als Teufelswerk und ist hierzulande nicht durchsetzbar. Kernkraftgegner sind nicht nur die Grünen, sondern sie finden sich auch in konservativen Kreisen, die gegen das zentrale Energieversorgungssystem sind, für das die Kernkraft ein Synonym ist.

Ein Industriestaat wie die BRD braucht nach dem heutigen Stand der Technik große zentrale Energieanlagen. Die gesamte Energieinfrastruktur basiert auf dieser Tatsache und kann nur im Laufe von Jahrzehnten geändert werden.

Aus dem bisher gesagten folgt, dass es in Deutschland einen Impuls in Richtung Wasserstofftechnik von Seiten der großen Energiekonzerne nicht geben kann. Denn mit dem Abbruch der Entwicklung von Hochtemperaturreaktoren im Jahre 1986 wurde auch der Weg in die Wasserstofftechnik verstellt (s.u.). Für die

großen Konzerne ist es nicht interessant, dass man kleine dezentrale Energieversorgungsanlagen exportieren könnte. Außerdem leben die großen Finanzorganisationen dieser Welt und der Dollar davon, dass die Länder sich immer mehr verschulden müssen, um ihre Erdölrechnungen bezahlen zu können [4].

Die Energiewirtschaft in diesem Lande ist aus Gründen, die Deutschland schaden, auf Erdöl und Erdgas fixiert [5]. Zur Wasserstofftechnik in Deutschland kommen wir nur durch einen Umweg über die Technik des Hochtemperaturreaktors. Denn die neue Energietechnik muss im Lande selbst entwickelt und praktiziert werden, wenn man sie verkaufen will. Das ist wie bei den Hochgeschwindigkeitszügen.

3 Der Hochtemperaturreaktor (HTR)

Im Anhang sind einige kernphysikalische Begriffe und Schreibweisen erläutert. Der Anhang ist zwar dienlich, aber für das Verständnis des Artikels nicht unbedingt erforderlich.

Der HTR ist eine geniale Weiterentwicklung des Druckwasserreaktors, der heute meistens für die Energie-Technik verwendet wird. In diesem Druckwasserreaktor wird sehr viel Wärmeenergie produziert, indem Uran 235 durch langsame Neutronen gespalten wird. Die produzierte thermische Energie wird ans Kühlwasser abgegeben, das sich auf etwa 320 °C aufheizt bei einem Druck von ca. 160 bar. Dieses hochgeheizte Kühlwasser dient zur Dampferzeugung. Der Dampf treibt eine konventionelle Turbine an, die über einen Generator elektrischen Strom erzeugt.

Der HTR heizt das Kühlmedium auf wesentlich höhere Temperaturen auf, nämlich auf ca. 950 °C. Diese Temperatur ist für einen wassergekühlten Druckwasserreaktor nicht erreichbar, da sich zu hohe Drücke aufbauen würden. Der HTR wird also nicht durch Wasser (mit seinem sehr hohen Dampfdruck bei hohen Temperaturen) gekühlt, sondern durch ein reaktionsträges Gas, nämlich Helium. Die Strukturmaterialien des Reaktors bestehen nicht aus Metallen (wie beim Druckwasserreaktor), sondern aus Graphit, das äußerst temperaturbeständig ist. Der Brennstoff, das Uran 233 – es hat ähnliche Eigenschaften wie das Uran 235 im Druckwasserreaktor – wird im Reaktor selbst aus Thorium 232 hergestellt, man sagt „gebrütet“ (s. Anhang). Thorium ist wesentlich häufiger auf der Erde vorhanden als Uran.

Während im Druckwasserreaktor der Brennstoff (meist Urandioxid UO_2) in speziellen Metallrohren untergebracht ist, befindet er sich beim HTR in sogenannten „coated particles“. Dies sind kugelige Körner aus einem Gemisch von UO_2 (oder UC_2) und Thoriumdioxid (ThO_2 oder ThC_2), die von mehreren dichten Graphitschichten umgeben sind. Der

Durchmesser dieser „coated particles“ liegt bei 0,4 mm. Diese Körner werden zu einer Kugel mit einem Durchmesser von 5 cm zusammengepresst, die anschließend mit einer 5 mm dicken Schale aus Graphit überzogen wird.

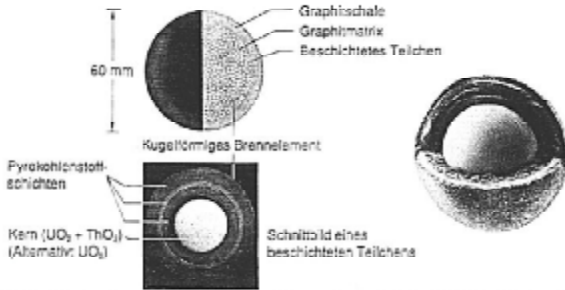
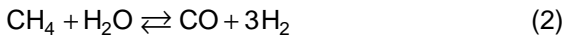


Bild 1 Brennelement des HTR [7]

Dieses tennisballgroße Brennelement mit einem Durchmesser von 6 cm ist gasdicht und hält die im Betrieb entstehenden radioaktiven Zerfallsprodukte zurück. Als Beispiel soll hier kurz der Reaktor THTR 300 beschrieben werden.

Der Thorium-Hochtemperaturreaktor THTR 300 wurde jahrelang in Hamm - Uentrop betrieben, bevor er aus politischen Gründen abgeschaltet wurde. Er hat eine thermische Leistung von 750 MW und eine elektrische Leistung von 300 MW. Kühlmittel ist Helium mit einer Ausgangstemperatur von 750 °C bei 40 bar. Der eigentliche Reaktorkern ist ein zylindrischer Druckbehälter von ca. 5,6 m Durchmesser und ca. 8 m Höhe, der nach unten trichterförmig ausläuft. Dieser Behälter ist mit ca. 675.000 Brennelementkugeln gefüllt (Füllhöhe ca. 5 m), die im Laufe von ca. 3,5 Jahren mehrmals von oben nach unten durch den Reaktor wandern. Das Kühlmittel Helium strömt von oben nach unten an den Kugeln vorbei und wird dabei auf eine Temperatur von ca. 750 °C erwärmt.

Der HTR liefert Wärmeenergie von so hohem Temperaturniveau, dass er nicht nur zur Stromerzeugung verwendet werden kann, sondern auch für Spaltungs- und Vergasungsprozesse wie z.B. die Wasserstoffherzeugung durch Methanspaltung (s. Gleichung (2))



Hierbei wird das Gemisch von Methan (CH₄) und Wasserdampf durch das heiße Helium auf eine Temperatur von 950 °C gebracht. Dabei bilden sich Kohlenmonoxid und Wasserstoff, wobei das Helium auf 750 °C abgekühlt wird. Dieses abgekühlte Helium kann dann durch eine Turbine geschickt werden, um Strom zu erzeugen.

Der HTR ist eine konsequente Weiterentwicklung der Techniken zur Kohleverflüssigung, die in den zwanziger Jahren in Deutschland ausgearbeitet wurden, um energieautark zu werden. Die hohen

Temperaturen zur Vergasung und Verflüssigung der Kohle wurden in den zwanziger Jahren durch Verbrennung von Kohle erzeugt, bei den neuen Anlagen geschieht das durch den HTR. Das wesentliche Ergebnis dieser Arbeiten der zwanziger Jahre war das synthetische Benzin, das Deutschland von den Mächtschaften der Herrscher über das Erdöls unabhängig machte.

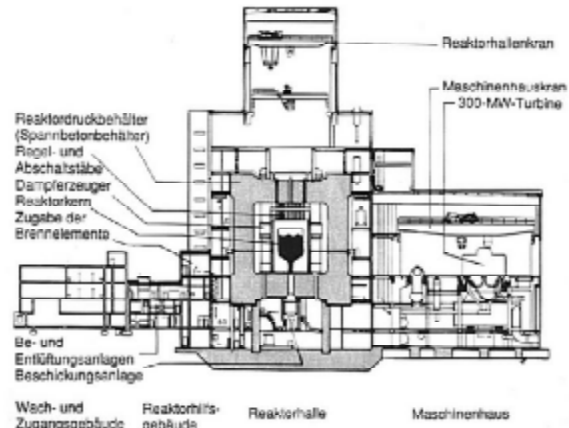


Bild 2 Reaktorgebäude des THTR 300 [7]

Die Entwicklungsarbeiten für den HTR wurden in Deutschland an dem AVR (Arbeitsgemeinschaft Versuchs-Reaktor) in der Kernforschungsanlage Jülich seit 1956 durchgeführt. Ab 1963 lieferte dieser Reaktor Strom ans Netz (Leistung 15 MW). Die mittlere Gasaustrittstemperatur des Reaktors liegt bei 950 °C [3].

Der erste kommerzielle Hochtemperaturreaktor in der BRD war der THTR 300 in Hamm - Uentrop, mit dessen Bau 1972 begonnen wurde. Im Laufe der Jahre wurden alle HTR - spezifischen Probleme gelöst.

Im Jahre 1986 verfügte die Landesregierung von Nordrhein-Westfalen unter dem damaligen Minister - Präsidenten Johannes Rau die Stilllegung des THTR 300. Damit wurde die intelligenteste und für Deutschland aussichtsreichste Entwicklung auf dem Gebiet der Energietechnik zunichte gemacht. Die Entscheidung der NRW-Landesregierung basierte im wesentlichen auf politischen und ideologischen Gründen.

Auf gleiche Art und Weise wurden die Arbeiten zur Wiederaufarbeitung und Entsorgung abgebrannter Brennelemente des HTR abgebrochen. Damit wurde nicht nur der Kernenergie in Deutschland der Todesstoß versetzt, sondern auch die Entwicklung der zukünftigen Energietechnik – der Wasserstofftechnik in der BRD unmöglich gemacht.

Die Antikernkraftbewegung war das erste Anzeichen einer wachsenden Technikfeindlichkeit in der BRD, einer Einstellung, die für das Land fatal ist. Sie wird seit Jahrzehnten von den Kernkraftgegnern gelenkt und am Leben gehalten. Ihr Haupt-

argument gegen die Kernenergie sind die radioaktiven Abfälle, die 10.000 Jahre und mehr strahlen. Sie erwähnen nicht, dass die Erde seit jeher ein riesiges radioaktives Inventar enthält – die Geothermie ist Wärme aus radioaktiven Prozessen. Giftige Substanzen lagern seit Jahrmillionen im Boden – Arsen, Quecksilber usw.

Mit dem Verzicht auf die Kerntechnik hat Deutschland als Industriestaat abgedankt und seine wichtigste Lebensgrundlage aufgegeben. Das know-how des Kugelhaufenreaktors soll nach China gegangen sein. Der Mut der Chinesen ist zu bewundern.

4 Anhang

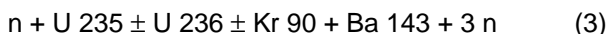
Da aufgrund der ideologischen Verketzerung der Kernenergie selbst ausgebildete Physiker oft nur noch vage Vorstellungen über die Vorgänge in einem Kernreaktor haben, will ich diesem Aufsatz einen kurzen Anhang anfügen, der grob beschreibt, was in einem Hochtemperaturreaktor abläuft. Dieser Anhang ist für das Verständnis des restlichen Artikels nicht Voraussetzung.

Ein Atom hat üblicherweise einen Durchmesser von ca. 10^{-10} m. Nach einer klassischen Vorstellung besteht das einfachste Atom – das Wasserstoffatom – aus einem positiv geladenen Kern, der von einem negativ geladenen Elektron umkreist wird (wie die Sonne von der Erde). Der Kern ist sehr klein. Er hat einen Durchmesser von ca. 10^{-15} m. Er besteht aus ungeladenen Neutronen und positiv geladenen Protonen.

Uran 235 z.B. besteht aus 92 Protonen, 143 Neutronen und 92 Elektronen in der Elektronenhülle. Die Zahl der Protonen ist bei einem neutralen Atom gleich der Zahl der Elektronen. Man nennt die Protonenzahl die Ordnungszahl des Elements, die Summe von Protonenzahl und Neutronenzahl die Massenzahl, da die Massen von Neutronen und Protonen ungefähr gleich sind und die Masse der Elektronen vernachlässigbar klein ist. Die Massenzahl von Uran 235 beträgt 235. Uran hat immer die Ordnungszahl 92, es enthält 92 Protonen im Kern und 92 Elektronen in der Atomhülle. Diese Elektronen bestimmen die chemischen, elektrischen, optischen, thermischen Eigenschaften des Elements. Die Zahl der Neutronen im Urankern kann unterschiedlich sein, ohne dass sich dadurch die chemischen Eigenschaften des Elements merklich ändern. Natürliches Uran, wie es in der Natur gefunden wird, besteht aus Uran 238 (99,3 %) und Uran 235 (0,7 %) sowie einem winzigen Anteil von Uran 234. Man nennt diese Atome gleicher Ordnungszahl aber verschiedener Massenzahl Isotope. Nur das Uranisotop U 235 ist durch langsame Neutronen spaltbar, U 238 nur durch sehr hochenergetische. Außerdem gibt es das künstliche, aus Thorium 232 hergestellte Uran 233, das

durch langsame Neutronen gespalten werden kann.

Bild 3 zeigt schematisch den Verlauf einer Kernspaltung. Ein Neutron trifft auf einen U 235 - Kern, es entsteht dabei der extrem kurzlebige Zwischenkern U 236, der durch die Neutronenaufnahme in heftige Schwingungen gerät und dabei zerplatzt. Im gezeichneten Beispiel entstehen die Kerne Krypton 89 und Barium 144 sowie drei Neutronen. Beim Zerplatzen des Kerns werden erhebliche Energiemengen frei, die Spaltprodukte, die mit großer Geschwindigkeit auseinander fliegen, sind radioaktiv. Der im Bild 3 beschriebene Spaltprozess kann durch die Gleichung (3) beschrieben werden



n ist das Symbol für das Neutron. Statt Krypton und Barium können andere Kerne ähnlicher Massenzahl entstehen.

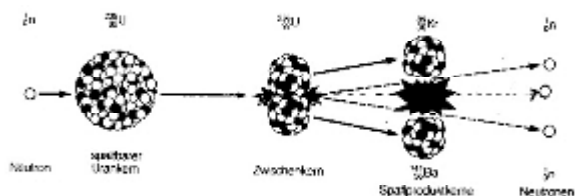


Bild 3 Spaltung eines Uran 235-Kerns durch ein Neutron

Die bei der Reaktion freigesetzten Neutronen können nun weitere U 235-Kerne zur Spaltung bringen (Kettenreaktion). Da aber langsame Neutronen die Spaltung wesentlich häufiger bewirken als schnelle, müssen die bei der Spaltung entstandenen schnellen Neutronen abgebremst werden. Dies bewirkt man, indem man sie gegen leichte Kerne prallen lässt, wo sie einen Großteil ihrer Energie abgeben und langsam werden. Als leichte Kerne verwendet man im Druckwasserreaktor die Wasserstoffkerne (Massenzahl 1) des Wassermoleküls H₂O. Das Wasser im Reaktor dient sowohl zur Wärmeabfuhr wie zur Abbremsung der Neutronen. Das Material, das die Neutronen abbremst, nennt man Moderator, den Vorgang Moderation.

Im Hochtemperaturreaktor werden die schnellen Neutronen der Kernspaltung durch Graphit (= Kohlenstoff, Massenzahl 12) abgebremst.

Die Brennelemente eines Druckwasserreaktors enthalten nicht Uran natürlicher Zusammensetzung (0,7 % U235, 99,3 % U 238), sondern angereichertes Uran, z.B. 3 % U 235 und 97 % U 238. Dieses Uran liegt in Form einer Verbindung vor, z.B. als Urandioxid UO₂. Wenn das U 238 ein Neutron einfängt, bildet sich das sehr kurzlebige U 239. Dieser radioaktive Kern emittiert zwei Elektronen (negativ geladen), wodurch die Ordnungszahl um 2 steigt: es bildet sich

Plutonium 239, das auch durch thermische Neutronen gespalten werden kann. Es wird im Druckwasserreaktor neuer Brennstoff erzeugt, man sagt „gebrütet“.

Im Hochtemperaturreaktor verwendet man als Brennstoff ein Gemisch von U 235 und Thorium 232. Das Uran dient zur Erzeugung von Neutronen am Anfang des Prozesses, das Thorium zum Brüten von U 233. Wenn ein Th 232 – Kern ein Neutron einfängt, bildet sich das kurzlebige Th233. Aus diesem entsteht durch zweimalige Emission von Elektronen aus dem Kern das Uran 233, das ähnliche Eigenschaften hat wie das U 235. Das Brennelement des HTR enthält ein Gemisch von hoch angereichertem UO₂ (oder UC₂) und von ThO₂ (oder ThC₂).

5 Folgerungen

Die Energieversorgung Europas ist auf lange Sicht nur gesichert durch eine intelligente Wasserstofftechnik, wobei in der Übergangsphase der HTR eine wichtige Rolle spielen wird.

Der Hochtemperaturreaktor bietet die modernste und eleganteste Möglichkeit, thermische und elektrische Energie zu erzeugen. Unter Anwendung von Verfahren der Wasserstofftechnik (s. a. Kohleverflüssigung) können flüssige Energieträger für Verkehr, Haushalt, Industrie usw. erzeugt werden. Der HTR erzeugt kaum atom-waffenfähige Isotope wie Plutonium 239, das im Druckwasserreaktor entsteht. Die radioaktiven Spaltprodukte sind von Beginn an in den „coated particles“ eingeschlossen. Die technischen Probleme des HTR sind gelöst bzw. lösbar (Endlagerung). Es ist allerdings nicht absehbar, wie der Schaden behoben werden kann, der durch die jahrzehntelange Antikernkraft - Kampagne von Medien **und CIA** in den Gehirnen der Deutschen provoziert worden ist. Das deutsche Volk ist von allen guten Geistern verlassen gewesen, als es sich von seinen Feinden den Verzicht auf den Hochtemperaturreaktor hat aufschwätzen lassen. Zur Entschuldigung kann man anführen, dass jahrzehntelange Gehirnwäsche zu diesem traurigen Ergebnis geführt hat. Ein möglicher Weg für Deutschland und Europa, die verlorene geistige Freiheit und Unabhängigkeit wiederzuerlangen ist die Reaktivierung der HTR - Technologie und die zügige Entwicklung der Wasserstofftechnik.

6 Literatur

- [1] Schulien, S.; Späth, N.; Wasserstoff und Sauerstoff aus regenerativen Energiequellen. AGAFE-Mitteilungen 1/1997
- [2] Wendt, H., Plzak, V.; Energetische Nutzung von Biomasse Chem.-Ing.-Tech. 64 (1992), S. 1084 ff.
- [3] Schulten, R. et al.; Nukleare Energie und sekundäre Energieträger Physik - Grundlage der Technik S. 148 ff. Physik-Verlag 1974
- [4] Scheer, H.; Entwicklungskrise als atomarfossile Energiekrise. Solarzeitalter 1 (2002)
- [5] Schulien, S.; Die Zukunft der Wasserstofftechnik AGAFE-Mitteilungen 2/2002
- [6] Bedenig, D.; Gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren Karl Thiernig Verlag 1972
- [7] Hering, E., Martin, R., Stohrer, M.; Physik für Ingenieure VDI-Verlag

*)
*Prof. Dipl.-Phys. Sigurd Schulien,
Fachbereich Physik. Technik,
Fachhochschule Wiesbaden*

