

Klaus Traube<sup>1</sup>

## **Kernspaltung, Kernfusion, Sonnenenergie – Stadien eines Lernprozesses**

Im Jahr 1953 – acht Jahre nach der Demonstration der entsetzlichen Zerstörungskraft der technisch entfesselten Atomenergie in Hiroshima – verkündete der amerikanische Präsident Eisenhower der Welt ein Programm zur friedlichen Nutzung der Atomenergie: *Atoms for Peace*. Damals wurde das schreckliche Bild von Hiroshima mit Prophezeiungen schier unerschöpflicher Möglichkeiten der Atomenergie übermalt, wurde die Vorstellung vom anbrechenden "Atomzeitalter" als einer Epoche gesegneter Fülle kreiert.

### **Der Start in das verheißungsvolle Atomzeitalter**

Die damaligen euphorischen Erwartungen drückt die Einleitung zum Godesberger Programm der SPD aus als "die Hoffnung dieser Zeit, daß der Mensch im atomaren Zeitalter sein Leben erleichtern, von Sorgen befreien und Wohlstand für alle schaffen kann." In seinem einflußreichen Werk "Die Atombombe und die Zukunft des Menschen" befand Karl Jaspers 1958: "Die Chance ist ungeheuer: Während die Atombombe verschwindet, würde die Atomenergie ein neues Zeitalter der Arbeit und Wirtschaft herbeiführen,..wenn das Atom nicht die Vernichtung bringt, stellt es das gesamte Dasein auf neuen Grund."

Die Vorstellungen darüber, wie denn die Atomenergie ein "neues Zeitalter" prägen und "Wohlstand für alle" schaffen könnte, waren diffus. So beschloß die SPD 1956 einen "Atomplan", der "der Atomenergie große Möglichkeiten für die Gesundheitspflege, für die Züchtung neuer Pflanzen und für technische Produktionsprozesse" zuschreibt, weiter "Kernkraftmaschinen für feste und fahrbare Kraftstationen, für Schiffe, Flugzeuge und andere Verkehrsmittel" verheißt. Ernst Bloch schwärmte im "Prinzip Hoffnung" von der Atomenergie, die "aus Wüste Fruchland, aus Eis Frühling machen kann. Einige hundert Pfund Uranium und Thorium reichen aus, die Sahara und die Wüste Gobi verschwinden zu lassen, Sibirien und Nordkanada, Grönland und die Antarktis zur Riviera zu verwandeln."

Solche, von Naturwissenschaftlern propagierte, heute nur mehr grotesk anmutende Verheißungen wurden von den Medien für bare Münze weitergereicht und erzeugten eine weltweite Atomeuphorie mit der Folge massiven staatlichen Einsatzes für die atomtechnische Forschung und Entwicklung. So entstanden in der Bundesrepublik zur Förderung der Atomtechnik ab Mitte der fünfziger Jahre staatliche Forschungszentren bis dahin unbekanntem Ausmaßes und ein Atomministerium, das die Großindustrie mit reichlichen Fördergeldern zu atomtechnischem Engagement anspornte.

Auch in der Industrie waren die Vorstellungen über die zu entwickelnde Atomtechnik zunächst, den Verheißungen der Gemeinde der Physiker entsprechend, diffus. Da sich mit zunehmender Kenntnis der Materie die vielfältigen Verheißungen bald als Luftschlöser erwiesen, konzentrierte sich die zivile atomtechnische Entwicklung noch in den 50er Jahren im wesentlichen auf die Erzeugung von Strom.

---

<sup>1</sup> Ktraube@t-online.de

Die Atomwaffenstaaten USA, Frankreich, Großbritannien und Sowjetunion konnten aufgrund ihrer atomtechnischen Infrastruktur noch anfangs der 50er Jahre mit dem Bau erster zivil genutzter Kernkraftwerke beginnen. Schon vor Ende der 50er Jahre nahmen in diesen Ländern kleinere Kernkraftwerke mit bis zu 100MW elektrischer Leistung die Stromerzeugung auf. Dabei verwendeten die Sowjetunion, Großbritannien und Frankreich die zur gleichzeitigen Erzeugung von Plutonium für Atomwaffen geeigneten, graphitmoderierten Reaktoren. Die USA trennten dagegen technisch und organisatorisch die zivile von der militärischen Nutzung. Schon für die ersten zivilen Kernkraftwerke setzten sie die zunächst für den U-Bootantrieb entwickelten Leichtwasserreaktoren ein, die sich später kommerziell durchsetzten, so daß sie nun gut 85% der weltweit installierten Kernkraftwerkskapazität ausmachen.

Die dominierende Rolle der Leichtwasserreaktoren begann sich Mitte der 60er Jahre abzuzeichnen. Bis dahin gab es neben den genannten noch eine bunte Palette von Reaktortypen, die mit staatlicher Finanzierung<sup>2</sup> entwickelt, teils auch in einzelnen Exemplaren gebaut wurden. Aber neben den Leichtwasserreaktoren amerikanischer Provenienz erwies sich lediglich ein Typ, der kanadische Schwerwasserreaktor (CANDU), über längere Zeit als marktfähig.

Zu den Reaktortypen, deren Entwicklung noch in den 50er Jahren begann, gehörte auch der natriumgekühlte schnelle Brutreaktor. Schon der erste stromerzeugende Reaktor, ein 1951 in den USA fertiggestelltes Kleinstkraftwerk (mit nur 200kw elektrischer Leistung) war ein solcher Natriumbrüter. Ende der 50er Jahre gingen in Großbritannien und der Sowjetunion erste Prototypen von Kernkraftwerken mit Natriumbrutreaktoren in Betrieb. Während die anderen (thermischen) Reaktortypen nur etwa 1% des eingesetzten Natururans energetisch nutzen können, sollten Brutreaktoren es zu über 50% ausnutzen. Angesichts begrenzter abbaubarer Uranvorkommen galten die thermischen Reaktoren daher als Übergangstechnologie, die Brüter dagegen als die eigentliche Zukunft der Atomenergie.

Schließlich begann auch in den 50er Jahren schon die Entwicklung der Kernfusionstechnologie<sup>3</sup>. Während in den thermischen und schnellen Reaktoren wie in Atombomben Energie durch die *Spaltung* schwerer Atomkerne freigesetzt wird, soll in Fusionsreaktoren Energie durch die *Verschmelzung* leichter Atomkerne entstehen so, wie in Wasserstoffbomben (und in der Sonne). Wie Brutreaktoren gelten auch Fusionsreaktoren als nahezu unerschöpfliche Energiequelle, da die für sie erforderlichen Ausgangsstoffe (schwerer Wasserstoff und Lithium) praktisch unbegrenzt verfügbar sind.

Während die Nutzung der Fusionstechnologie heute für frühestens das Jahr 2050 in Aussicht gestellt wird, sprach 1955 auf der Genfer UN-Atomkonferenz deren Präsident, der indische Atomphysiker Bhabha, von 20 Jahren bis zu ihrer Verwirklichung. Noch kürzere Fristen wurden damals für die wirtschaftliche Einführung der Brüter genannt.

---

<sup>2</sup> So sah das 1. (Eltviller) Atomprogramm der Bundesrepublik 1957 die Entwicklung von 5 verschiedenen Reaktortypen und deren Bau als Prototypen vor.

<sup>3</sup> So entstanden die Fusionsforschungszentren in Großbritannien und Frankreich in der zweiten Hälfte der 50er Jahre, begann zudem 1958 das EURATOM-Fusionsforschungsprogramm.

### Leichtwasserreaktoren: Boom und Zusammenbruch der Konjunktur

Anfangs der 60er Jahre begann in Großbritannien, Frankreich und den USA in Fortsetzung der zunächst gebauten Reihe kleinerer Demonstrationskraftwerke die Errichtung nuklearer Großkraftwerke im Bereich 300 bis 600MW elektrischer Leistung. In Großbritannien und Frankreich handelte es sich um die auch militärisch genutzten, von den staatlichen Strommonopolen betriebenen Gas-Graphit-Reaktoren. In den USA wurden dagegen 1962/63 vier erste große Leichtwasserkraftwerke von privaten Stromversorgern auf rein kommerzieller Grundlage geordert. Das galt als der "kommerzielle Durchbruch". Ab 1965 erfolgte ein Boom an Bestellungen von Leichtwasserreaktoren in den USA, bald darauf auch in der Bundesrepublik, in Japan, Schweden und der Schweiz. Dieser Bestellboom hielt ein Jahrzehnt lang, bis Mitte der 70er Jahre, an und brach dann abrupt ab, wie die folgende Tabelle demonstriert. Die dort aufgeführten Werte repräsentieren jeweils die Summe der elektrischen Nettoleistung [in GW= $10^6$ kW] der im Betrieb und im Bau befindlichen sowie bestellten Kernkraftwerke am 31.12.75 und am 1.2.97<sup>4</sup>.

Stand	31.12.75	1.2.97
USA	223	104
Großbritannien + Kanada <sup>5</sup>	19	29
Frankreich	21	64
Rest Westeuropa	69	50
Japan	15	44
Summe westliche Industrieländer	347	291
Sowjetunion/GUS-Länder	18	45
Osteuropa	9	16
Summe östliche Industrieländer	27	61
Südkorea + Taiwan	7	22
Entwicklungsländer	12	19
Summe Welt	393	393
Davon in Betrieb	71	349

<sup>4</sup> Die Angaben entstammen den Statistiken der Zeitschrift *Atomwirtschaft* (atw), für 1975 dem Jahrbuch atw 1977, für 1997 der atw März 1997. Für 1975 sind dort Nettoleistungen angegeben, für 1997 dagegen Bruttoleistungen. Um Vergleichbarkeit herzustellen haben wir die angegebenen Bruttoleistungen durch Multiplikation mit dem eher hoch angesetzten Faktor 0,95 näherungsweise in Nettoleistungen umgerechnet.

<sup>5</sup> Außer in Großbritannien und Kanada besteht die weltweit installierte und im Bau befindliche Kernkraftleistung nahezu ausschließlich aus Leichtwasserreaktoren. Großbritannien bzw. Kanada haben an eigenentwickelten Reaktorlinien (Gas- Graphit bzw. Schwerwasser) festgehalten.

Der Kernkraftboom hatte ganz überwiegend in den USA, daneben in Westeuropa stattgefunden. 1975 betrug der Anteil der USA an der weltweiten Kernkraftleistung 57%, der Westeuropas 26%, zusammen 83%. Aber schon 1974 begann eine Welle von Stornierungen bereits im Bau befindlicher oder bestellter Kernkraftwerke in den USA; mehr als die Hälfte der bis 1975 geordneten Kernkraftwerke wurde – teils unter hohen Verlusten – aufgegeben, wie der Vergleich der für 1975 und 1997 angegebenen Leistungen zeigt. Die tatsächlich errichteten, heute in den USA existierenden 106 Kernkraftwerke sind mit nur einer Ausnahme bereits vor 1974 bestellt worden.

Die Gas-Graphit-Reaktorlinie wurde nach 1965 in Frankreich zugunsten der Leichtwasserreaktoren aufgegeben und dann nur von Großbritannien in einer modifizierten Version (AGR) noch als kommerzielle Baulinie weitergeführt sowie in der Bundesrepublik und den USA als Entwicklung des Hochtemperaturreaktors (HTR). 1971 schien diesem Typ in den USA der kommerzielle "Durchbruch" gelungen zu sein: die General Atomic verkaufte acht HTR-Reaktoren für Kraftwerke mit 800 und 1200 MW elektrischer Leistung. Sie wurden sämtlich 1974/75 mit hohen Verlusten wieder storniert, weil sich die absehbaren Baukosten gegenüber den Veranschlagten etwa verdoppelt hatten<sup>6</sup>.

Dramatische Kostensteigerungen waren auch bei den Leichtwasserreaktoren die primäre Ursache für die Stornierungen. Hinzu kam die Aussicht auf Überkapazitäten, die mittelbar auch diesen Kostensteigerungen zuzurechnen ist: mit der Aussicht auf billigen Atomstrom ging eine Strategie zur massiven Ausweitung des Einsatzes von Strom im Wärmemarkt einher, die zur Annahme weit überhöhter Wachstumsraten des Stromverbrauchs führte. Noch 1975 begründete das zur US-Elektrizitätswirtschaft gehörende *Edison Electric Institute* die Annahme einer Stromzuwachsrate in den USA von jährlich 6,5% (d.h. Verdopplung des Stromverbrauchs in 11 Jahren) mit dem besonderen Einfluß des billigen Atomstroms auf den zukünftigen Elektrizitätsverbrauch<sup>7</sup>. Tatsächlich führte schon zur gleichen Zeit die extreme Kostensteigerung der Kernkraftwerke viele amerikanische Stromversorger zu der Einsicht, daß der Zubau von Kernkraftwerken gegenüber Kohlekraftwerken unwirtschaftlich war.

Die Kostensteigerungen fanden naturgemäß nicht nur in den USA statt. In der Bundesrepublik bestellte RWE 1969 das erste 1200MW Kernkraftwerk Biblis A zu einem Festpreis von 750 Millionen (Mio) DM; bei Inbetriebnahme 1975 hatte RWE insgesamt 850 Mio DM investiert<sup>8</sup>. Das letzte der in Deutschland errichteten Kernkraftwerke, die vom gleichen Hersteller ebenfalls schlüsselfertig gelieferte Anlage Neckar 2 (1270MW, Baubeginn 1982, Inbetriebnahme 1989) kostete rd. 5 Milliarden DM<sup>9</sup>. Unter Berücksichtigung der Inflation und der unterschiedlichen Leistung war Neckar 2 real gut *drei mal so teuer* wie Biblis A. Die

---

<sup>6</sup> Zu den HTR- Stornierungen vgl. Jahrbuch atw 1976, S.201

<sup>7</sup> Vgl. Jahrbuch atw 1976, S. 202. Das Institut bezifferte dabei allen Ernstes die Kosten des Atomstroms zu etwa 1/8 der Stromkosten konventioneller Wärmekraftwerke.

<sup>7</sup> Vgl. Jahrbuch atw 1976, S.34f

<sup>8</sup> Vgl. Jahrbuch atw 1990, S.36

<sup>9</sup> RWI: Auswirkungen des EG-Binnenmarkts für Energie auf Verbraucher und Energiewirtschaft der Bundesrepublik. Essen, 1991, S.108

Öffentlichkeitsarbeit der Atomwirtschaft ließ sich von dieser Entwicklung nicht beirren: es blieb bei der eingeführten Formel vom "Kostenvorsprung des Atomstroms in der Grundlast" gegenüber dem Kohlestrom. Aber selbst das gewiß nicht atomfeindliche Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung ermittelte 1991 auf der Basis der Kosten der drei zuletzt in der Bundesrepublik errichteten Kernkraftwerke, daß neue Kraftwerke für Importkohle bzw. rheinische Braunkohle auch in der Grundlast Strom wesentlich (um 15% bzw. 25%) kostengünstiger produzieren als neue Kernkraftwerke<sup>10</sup>.

Die extremen Kostensteigerungen lagen einerseits an anfänglich marktstrategisch motivierten Einführungspreisen der Hersteller; andererseits aber hatten auch die Hersteller anfangs die Kosten stark unterschätzt, was zu hohen Verlusten führte. Die Ursache dieser Fehleinschätzung war technologischer Art: die Kombination von technischer Komplexität, Sicherheitsanforderungen und Größe der kommerziellen Kernkraftwerke war völlig neuartig, jenseits bisheriger industrieller Erfahrungen<sup>11</sup>.

Eine straffe, auch militärisch motivierte staatliche Atompolitik in Verbindung mit jeweils nur einem staatlichen Strommonopolisten sorgte in Großbritannien und Frankreich auch nach 1975 zunächst für den weiteren Ausbau der Atomstromkapazität. Im übrigen Westeuropa, wo der Leichtwasserreaktorboom bald nach dem amerikanischen einsetzte, kam es dagegen nach 1975 auch zur Stornierung von mehr als einem Drittel der bis dahin bestellten Kernkraftwerke. Bis auf die in Deutschland noch 1982 in Angriff genommenen drei Konvoi-Anlagen sind alle im übrigen Westeuropa existierenden Kernkraftwerke bereits vor mehr als zwanzig Jahren bestellt und vor mehr als zehn Jahren fertiggestellt worden.

Wie die Tabelle zeigt, ist die Summe der Leistung der weltweit in Betrieb und im Bau befindlichen sowie bestellten Kernkraftwerke derzeit nicht höher als 1975; damals waren erst 18% Anteil an dieser Gesamtleistung im Betrieb, derzeit dagegen rd. 90%<sup>12</sup>. Die Stornierungen in den USA und Westeuropa sind nur gerade kompensiert worden durch nach 1975 in Angriff genommene Anlagen, von denen über 80% allein auf Frankreich, die Sowjetunion, Japan, Südkorea und Taiwan entfallen<sup>13</sup>. Seit 1986 ist weltweit nirgends außer im Fernen Osten (Japan, Korea, Taiwan, China) noch ein Kernkraftwerk bestellt worden.

Der Zusammenbruch der Atomkonjunktur kam unerwartet. Der ab Mitte der 60er Jahre einsetzende Kernkraftboom hatte zu ganz anderen Erwartungen über den künftigen Ausbau der Kernenergie geführt, dies insbesondere nach der ersten Ölkrise von 1973. Im Jahr 1974 prognostizierte die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEA) der UN, daß im Jahr 2000 weltweit Kernkraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 4450000 MW im Betrieb sein werden, *zwölf mal so viel*, als in der nun absehbaren Realität. In den Folgejahren reduzierte

---

<sup>11</sup> Der Verfasser hat selber diese Erfahrungen gemacht, da er als Leiter des Fachgebiets Kernreaktoren der AEG verantwortlich war für Entwicklung und Bau der Siedewasserreaktoren in der Bundesrepublik.

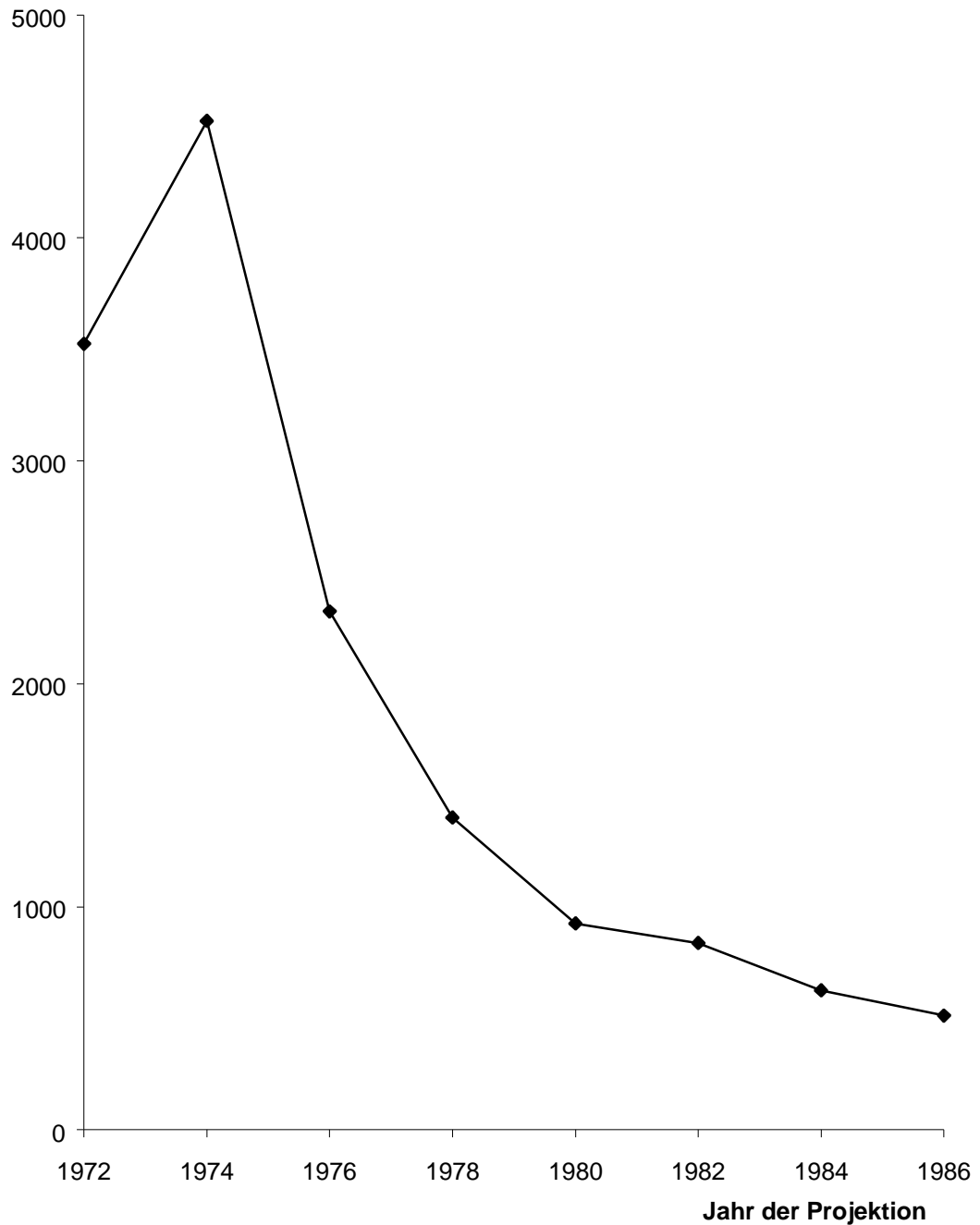
<sup>12</sup> Von den rd. 10% dieser Leistung, die in der Statistik als im Bau befindlich bzw. als bestellt registriert werden, besteht ein großer Teil aus Karteileichen. Rd. 30% dieser Leistung besteht aus Kernkraftwerken, die noch in den 70er Jahren bestellt wurden (so u.a. bei Siemens bestellte Anlagen in Argentinien, Brasilien, Iran, außerdem vor allem Anlagen im ehemaligen Ostblock und in den USA).

<sup>13</sup> Im Bereich der Entwicklungsländer, die  $\frac{3}{4}$  der Weltbevölkerung beherbergen, spielt die Kernenergie, wie die Tabelle zeigt, praktisch keine Rolle.

die IAEA regelmäßig ihre Prognosen für die im Jahr 2000 installierte Kernenergiekapazität. Die Abbildung 1 veranschaulicht den Verlauf dieses Erkenntnisprozesses bis zum Jahr 1986. Wie wird die Zukunft der Kernenergie nunmehr eingeschätzt? Die Abbildung 2 veranschaulicht die 1996 erstellte Prognose der Internationalen Energie-Agentur (IEA) der OECD für die weltweite Entwicklung der Atomstromerzeugung bis 2010. Demnach wird die Atomstromerzeugung weltweit nur noch wenig zunehmen, in Nordamerika und Westeuropa, wo derzeit 70% der weltweiten Kernkraftwerkskapazität installiert sind, sogar ab dem Jahr 2000 wieder abnehmen. Der Anteil des Atomstroms an der Deckung des weltweiten

ü

## Projektionen der Internationalen Atomenergie- Organisation zur weltweit im Jahr 2000 installierten Kernkraftwerkskapazität

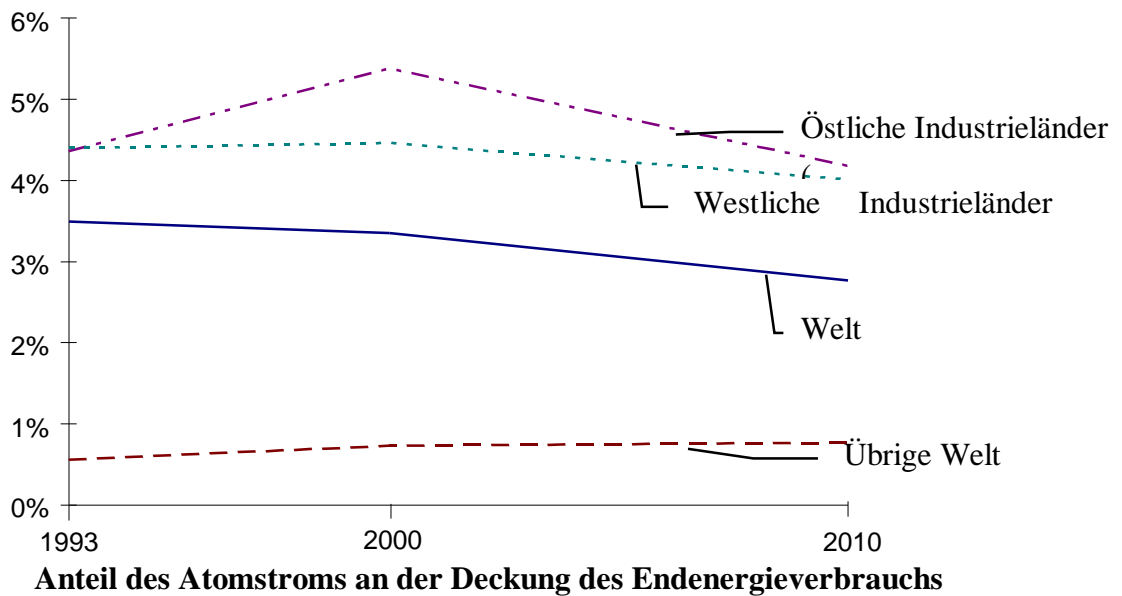
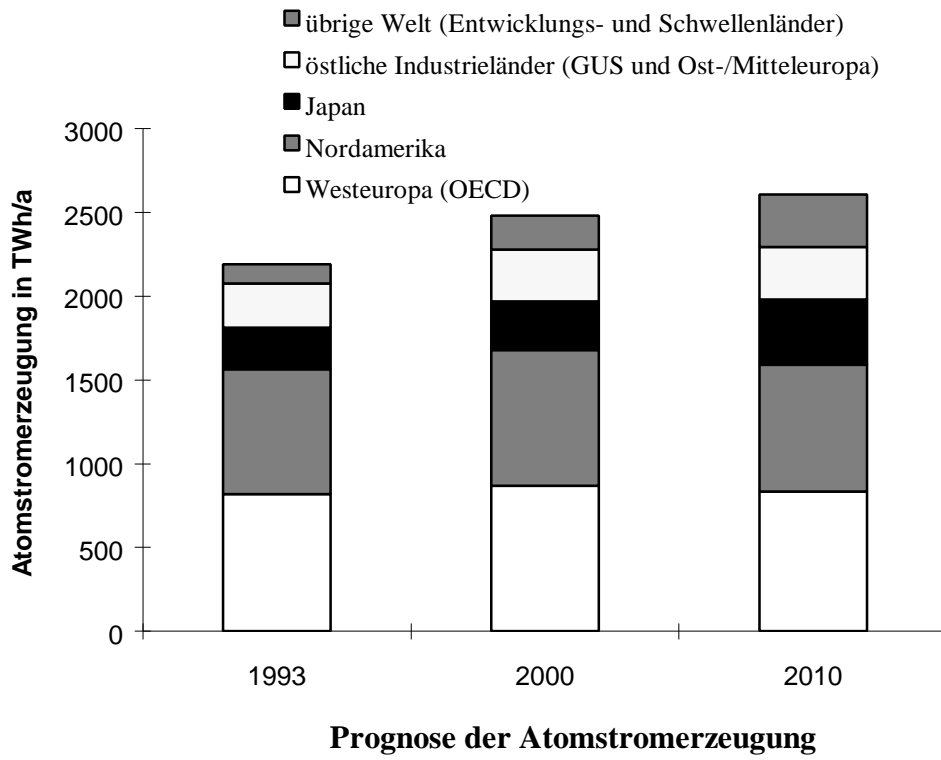


Quellen: IAEA Annual Reports (1972-80)

IAEA Reference DATA Series 1, 1982

IAEA Nuclear Power, Status and Trends (1984-86)

**Abbildung 1**



<p><b>Abbildung 2</b></p>	<p><b>IEA-Prognose Atomenergie von 1996</b>          Daten aus: IEA World Energy Outlook 1996,          Capacity Constraints Case</p>	
---------------------------	---	--



Energieverbrauchs wird dieser Prognose zufolge von derzeit 3,5% bis 2010 auf 2,8% sinken. Für Deutschland sagt die jüngste ESSO- Energieprognose als "wahrscheinlichsten Fall" voraus, daß die Kernkraftkapazität infolge von Stilllegungen bis zum Jahr 2020 um ca. 40% abnimmt; im "Extremfall" könnte sie infolge Neubau als Ersatz für stillgelegte Kernkraftwerke konstant bleiben.<sup>14</sup> Ganz ähnlich sahen das schon vor Jahren die ebenfalls bis 2020 reichenden Szenarien der Deutschen Shell<sup>15</sup>.

Und die deutschen Atomkraftwerksbetreiber, die Verbundunternehmen? Selbstredend halten sie eisern fest am Weiterbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke. Sie haben sich auch in den vergangenen acht Jahren an den Kosten der deutsch/französischen Weiterentwicklung des Druckwasserreaktors beteiligt<sup>16</sup>. Konkrete Pläne zum Bau eines neuen Kernkraftwerks gibt es aber weder in Deutschland noch in Frankreich<sup>17</sup>, auch sonst nirgends außer in einigen asiatischen Ländern. Die offizielle Sprachregelung der deutschen Verbundunternehmen lautet, man wolle die Option für den Bau neuer als Ersatz für stillzulegende Kernkraftwerke offen halten. Aber die Chefs der großen Kernkraftbetreiber Preußenelektra und Hamburgische Elektrizitätswerke verkünden öffentlich, sie sähen für die Kernenergie in Deutschland aus wirtschaftlichen Gründen keine Zukunft<sup>18</sup>.

### **Exkurs: Perspektiven für die Stromerzeugung**

Diese Einschätzung kontrastiert die bisherige Öffentlichkeitsarbeit der Atomwirtschaft Beharrlich war erklärt worden, Atomstrom sei – jedenfalls in der Grundlast – billiger als Kohlestrom. Angriffe auf die im internationalen Vergleich hohen deutschen Strompreise wurden pariert mit dem Hinweis auf Frankreich, wo die Kernkraft unbehindert ausgebaut werden konnte und der Atomstrom  $\frac{3}{4}$  der gesamten Stromerzeugung ausmacht<sup>19</sup>. Nur: die Konstruktion des Kostenvorsprungs des Atomstroms beruhte auf dem Vergleich mit der extrem teuren deutschen Steinkohle, die etwa vier mal so viel kostet wie zu Weltmarktpreisen importierte Kohle. Im Nachbarland Dänemark beispielsweise, wo Strom ganz überwiegend

---

<sup>14</sup> ESSO AG (Hrsg.): ESSO Energieprognose '97, "Mehr Strom aus Gas".

<sup>15</sup>Vgl. Deutsche Shell AG: Energiemarkt Deutschland: Höhere Effizienz bremst Verbrauch. Shell Szenarien bis zum Jahr 2020.Hamburg 1993.

<sup>16</sup> Mit insgesamt 110 Millionen DM, entsprechend ca. 0.02% ihrer Erlöse aus dem Stromverkauf während der acht Jahre.

<sup>17</sup> Die Regierung Jospin hat im September '97 das Aus für den Standort verkündet, der einst zum Bau eines Exemplars des weiterentwickelten Druckwasserreaktors vorgesehen war. Der Strommonopolist EDF nahm die Entscheidung widerspruchslos zur Kenntnis.

<sup>18</sup> HEW-Chef Timm erklärte in der TAZ vom 5.7.97: "Unter den sich abzeichnenden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen lohnt sich der Bau neuer Kernkraftwerke nicht mehr". In einem Vortrag am 15.1.97 bei der Industrie- und Handelskammer zu Kiel erklärte Preußenelektra- Chef Harig, angesichts des entstehenden Kostendrucks sehe er "in Deutschland in einem völlig liberalisierten Strommarkt...kein neues Kernkraftwerk entstehen".

<sup>18</sup> Der Anteil des Atomstroms an der gesamten Stromerzeugung liegt in Deutschland bei 30%, weltweit bei 17%. Deutschland ist nach USA, Frankreich und Japan der viertgrößte Atomstromerzeuger.

aus importierter Steinkohle erzeugt wird, liegen die Strompreise (ohne Steuern) nicht nur weit unter den deutschen, sondern auch erheblich unter den französischen<sup>20</sup>, obwohl –oder weil – es in Dänemark keine Kernenergie gibt, nicht einmal billige Wasserkraft.

Hinzu kommt, daß sich die Konkurrenzfähigkeit von Kernkraftwerken in jüngerer Zeit weiter verschlechterte wegen der Entwicklungen im Bereich konkurrierender konventioneller Kraftwerke. In den 90er Jahren wurden Steigerungen der elektrischen Wirkungsgrade und Senkungen der Baukosten erreicht, die die Wirtschaftlichkeit neuer Kohlekraftwerke erheblich, die kombinierter Gas- und Dampf- (GuD-) Kraftwerke sogar in spektakulärem Maß verbessern.

GuD-Kraftwerke sind auch als kleinere Anlagen billig und hocheffizient, eignen sich daher insbesondere zur Kraft-Wärme-Kopplung, d. h. zur Nutzung der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme als Prozeßwärme für Industrie und Gewerbe oder als Nah- bzw. Fernwärme für die Beheizung von Gebäuden. Zudem entwickelte sich in den 90er Jahren ein erheblicher Markt für die mit Motoren (statt Turbinen) angetriebenen kleinen Kraftwerkseinheiten, die Blockheizkraftwerke. Mit ihnen kann der Wärmebedarf auch von einzelnen Bürobauten, kleineren Betrieben und kleineren Wohnsiedlungen wirtschaftlich in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden.

Alle diese Entwicklungen begünstigen den Ausbau der energiesparenden, umweltschonenden Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung. Sie benötigt freilich Brennstoff, emittiert also das Klimagas CO<sub>2</sub><sup>21</sup>; die gelieferte Wärme *ersetzt* andererseits die sonst mittels Verbrennung von Kohle, Heizöl oder Erdgas erzeugte Wärme, *verhindert* also auch CO<sub>2</sub>-Emissionen. Beim Einsatz von Blockheiz- und GuD-Kraftwerken, die in der Regel mit Erdgas betrieben werden, kompensieren sich diese gegenläufigen Effekte weitgehend, so daß per Saldo kein CO<sub>2</sub> emittiert wird, Atomstrom daher auch in dieser Beziehung keinen Vorteil bietet.

Der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung ist ökonomisch wie ökologisch die günstigste Perspektive für die mittelfristige Erneuerung des Kraftwerksparks. Das Potential ist enorm: in Deutschland geschieht lediglich etwa 10% der Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung, in Dänemark sind es rd. 50%, in den Niederlanden rd. 40%, in Finnland rd. 35%<sup>22</sup> - Länder mit vergleichsweise niedrigem Strompreisniveau.

Der niedrige Anteil in Deutschland liegt also offenbar nicht, wie vielfach behauptet, an mangelnder Wirtschaftlichkeit der Kraft-Wärme-Kopplung.<sup>23</sup> Er liegt vielmehr an ungünstig

---

<sup>20</sup> Vgl. Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft (VIK), Statistik der Energiewirtschaft 1994/95

<sup>21</sup> Das gilt nicht beim Einsatz von Biomasse

<sup>22</sup> Die Angaben über die KWK-Stromerzeugung streuen, weil es dafür keine einheitliche Definition gibt. Unter Berufung auf EUROSTAT beziffert z.B. eine Mitteilung der EU-Kommission [Kom(97) 514, S.30] vom 15.10.1997 für das Jahr 1994 den Anteil der KWK an der gesamten Stromerzeugung für Deutschland mit 9%, Dänemark mit 39%, Niederlande mit 40%, Finnland mit 31%. Seitdem ist die KWK-Erzeugung in Dänemark noch stark, in den übrigen genannten Ländern mäßiger gestiegen. Die rd.50% für Dänemark entstammen Angaben der beiden Verbundunternehmen ELSAM und Elkraft für 1995 (vgl. H. Krawinkel in Frankfurter Rundschau Dokumentation vom 10.10.96). Die Angabe 35% für Finnland stammt vom finnischen Verbund-EVU Imatran Voima Oy (IVO), Vortrag Sintonen, Berlin 31.5.96.

<sup>23</sup> Offenbar ist es nicht mit volkswirtschaftlichen Argumenten zu erklären, daß ähnlich strukturierte Kommunen die Kraft-Wärme-Kopplung in ganz unterschiedlichem Maß nutzen, daß z.B. der Raumwärmebedarf in Flensburg nahezu vollständig, in Lübeck nahezu überhaupt nicht durch Fernwärme gedeckt wird.

gesetzten Rahmenbedingungen, vor allem an einer Verdrängungsstrategie der großen Stromerzeuger. Die gekoppelte Stromerzeugung ist an lokalen Wärmebedarf gebunden, geschieht daher ganz überwiegend nicht in den ortsfernen Großkraftwerken, sondern in kleineren Heizkraftwerken, die in der Regel von Stadtwerken und Industrie betrieben werden. Sie schmälert den Absatz der jeweils vorgelagerten Stromversorger, trifft daher seit jeher auf deren Widerstand.<sup>24</sup>

Es wäre Aufgabe der Politik, die ökologisch und gesamtwirtschaftlich schädlichen Behinderungen der Kraft-Wärme-Kopplung zu unterbinden und klare Signale für ihren Ausbau zu setzen. Dafür wäre ein so massives staatliches Engagement wie bei der Kernenergie nicht im entferntesten erforderlich, wohl aber die Bereitschaft zum Konflikt mit den großen Verbundunternehmen, den Atomverstromern. Daran mangelt es. Daß dies auch mit dem Ausbau der Kernenergie zu tun hat, lehrt schon ein Blick in die Statistik: In Frankreich, wo der staatliche Monopolist EDF gut  $\frac{3}{4}$  der Stromerzeugung mit Atomstrom deckt, ist der Anteil der gekoppelten Stromerzeugung mit 1% der niedrigste unter den EU-Ländern. In Dänemark gibt es dagegen keinen Atomstrom, in den Niederlanden spielt er mit 5% Anteil nur eine geringe Rolle<sup>25</sup>.

Der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung ist mittelfristig die bedeutendste Perspektive zur Erneuerung der deutschen Stromerzeugung. Hinzu kommt die regenerative Stromerzeugung als die Langfristperspektive, deren Markteinführung schon jetzt zu betreiben und zu fördern ist. Es geht aber nicht nur um die Erneuerung der Erzeugung, sondern in besonderem Maß auch um rationellere Stromnutzung.

### **Brutreaktoren: Verheißung und Fiasko**

Brutreaktoren (Brüter) bieten die Möglichkeit, etwas mehr an Kernspaltstoff (in Form von Plutonium) zu erbrüten, als sie zur Energieerzeugung (in Form von spaltbarem Uran oder Plutonium) verbrauchen.<sup>26</sup> Führte man das erbrütete Plutonium wiederholt als Brennstoff in

---

<sup>24</sup> Der Jahresbericht 1966 der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) bemerkt dazu (S.9): "Die Eigenerzeugung...hat Auftrieb bekommen, da die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme heute bei kleinen Anlagen auf der Basis von Erdgas wirtschaftlich sein kann...Zwischen 1994 und 1996 mußten sich nach einer VDEW-Umfrage die 50 größten Stromversorger in fast 2000 Fällen der Herausforderung durch Pläne zur Eigenerzeugung stellen. Durch flexiblen Preisgebaren oder durch eigene Contracting-Angebote konnten sie sich vielfach behaupten...Jedenfalls wurden die Überlegungen zur Eigenerzeugung in den meisten Fällen letztlich fallen gelassen."

<sup>25</sup> In Finnland liegt dagegen der Atomstromanteil bei 30%. Im Gegensatz zu den deutschen Verbundunternehmen hat sich dort aber das große staatliche Verbundunternehmen Imatran Voima durch Kooperationen mit Industrie und Kommunen wesentlich am Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung beteiligt

<sup>26</sup> Im Prinzip kann auch aus Thorium (Isotop 232) Spaltmaterial (Uran 233) erbrütet werden. Der in den USA und in der Bundesrepublik seit Ende der 50er Jahre bis um 1990 mit großem Aufwand und entsprechender Propaganda entwickelte Hochtemperaturreaktor (HTR) wurde in der Version als *Thorium*hochtemperaturreaktor (THTR) eine Zeit lang auch als potentieller Brüter propagiert. In beiden Ländern wurde je ein kleiner HTR und nachfolgend ein 300 MW Demonstrations-HTR gebaut und betrieben; in den USA gab es zudem die weiter oben schon beschriebene Episode des Verkaufs (1971) von 8 großen, "kommerziellen" HTR-Kraftwerken, die einige Jahre später unter großen Verlusten aufgegeben wurden. 1989 wurden beide 300 MW HTR wegen

Brüter zurück, so könnte man langfristig den überwiegenden Teil des zugeführten Natururans zur Energieerzeugung nutzen, während die in der Praxis existierenden Leichtwasser- und sonstigen „thermischen“ Kraftwerksreaktoren nur etwa 1% des Natururans nutzen können. Theoretisch gibt es mehrere mögliche Prinzipien zur Konstruktion von Brütern. In der Praxis ist aber nur eine Version, der "schnelle natriumgekühlte Brutreaktor", kurz Natriumbrüter, ausgeführt worden.

Das im Reaktor erbrütete Plutonium befindet sich in den hauptsächlich aus Uran, zudem aus hochradioaktiven Spaltprodukten bestehenden Brennelementen. Um es weiter verwenden zu können, muß es abgetrennt werden. Das geschieht in einer Wiederaufarbeitungsanlage (WAA); die Gewinnung von Plutonium ist der einzige Zweck solcher Anlagen. Plutonium kann außer als Kernbrennstoff auch als Sprengstoff für Atomwaffen verwendet werden. Dazu eignet sich das Plutonium aus Natriumbrütern hervorragend. Die Kombination Natriumbrüter und WAA ist daher auch militärisch nutzbar<sup>27</sup>.

Soll das in der WAA gewonnene Plutonium wieder als Kernbrennstoff in Reaktoren zurückgeführt werden, so muß es gemischt mit Uran wieder zu Brennelementen (aus "Plutonium-Mischoxyd", kurz MOX) verarbeitet werden. Wegen der extremen Giftigkeit (Radiotoxizität) von Plutonium<sup>28</sup> ist die MOX-Fabrikation weitaus aufwendiger als die Fabrikation der Uranbrennelemente für die Leichtwasserreaktoren.

Nicht allein Brüter, vielmehr ein System von Brütern, Anlagen zur Wiederaufarbeitung und zur MOX-Fabrikation ermöglichen die weitaus höhere Ausnutzung des Natururans als in Leichtwasser- oder anderen thermischen Reaktoren, die keine WAA und MOX-Fabrik benötigen. Dennoch erschien die Wiederaufarbeitung auch des in Leichtwasserreaktoren eingesetzten Brennstoffs zunächst als selbstverständlich, weil es von Anfang an außer Frage zu stehen schien, daß die Nutzung der Atomenergie längerfristig nur durch Brüter erfolgen wird. Das auch in Leichtwasserreaktoren (in geringeren Mengen) erbrütete Plutonium sollte durch Wiederaufarbeitung gewonnen werden um als Brennstoff zum Starten der ersten Brütergeneration zu dienen.

Die Plutoniumwirtschaft, das Gespann Brüter-WAA, war die Basis der Verheißung unerschöpflicher Atomenergie. Sie war das Motiv für die enormen Anstrengungen der großen Industriestaaten zur Entwicklung von Natriumbrütern, wobei freilich in einigen Staaten auch militärische Motive mitspielten.

Die Entwicklung der Natriumbrüter begann parallel zur Entwicklung der heute existierenden Kernkraftwerkstypen. Noch bevor Mitte der 60er Jahre der als "kommerzieller Durchbruch" begrüßte Bestellboom für amerikanische Leichtwasserreaktoren erfolgte, arbeiteten in den Atomwaffenstaaten Frankreich, Großbritannien, USA und Sowjetunion bereits kleinere Versuchskraftwerke mit Natriumbrütern, hatten zudem Frankreich, Großbritannien und die Sowjetunion schon den Bau mittelgroßer Demonstrationskraftwerke begonnen.

---

betrieblicher Probleme abgeschaltet und damit die HTR-Entwicklung praktisch weltweit eingestellt. Thoriumbrüter hat es nicht gegeben.

<sup>27</sup> Dies war auch ein Motiv für das starke französische Brüter-Engagement. Le Monde zitierte am 19.1.1978 den General Thiry von der französischen Atomkommission (CEA): "Frankreich...wird Atomwaffen in großer Zahl produzieren können, sobald schnelle Brutreaktoren das dazu erforderliche Plutonium reichlich verfügbar machen".

<sup>28</sup> Einige Millionstel Gramm Plutonium wirken im menschlichen Organismus tödlich.

Im Jahr 1965 legte das Kernforschungszentrum Karlsruhe eine erste umfassende deutsche Brüterstudie vor, der zufolge die Brüder schon in den 70er Jahren kommerziell einsetzbar seien und die Leichtwasserreaktoren wieder verdrängen würden<sup>29</sup>. Für das Jahr 2000 prognostizierte die Studie für die Bundesrepublik Brüterkraftwerke mit insgesamt 80.000MW elektrischer Leistung (während derzeit die Jahreshöchstlast im öffentlichen Stromnetz des früheren Bundesgebietes bei 60.000MW liegt!). Voraussetzung sei, daß ein mittelgroßer Demonstrationsbrüter – wie in Frankreich, Großbritannien und der Sowjetunion – unverzüglich auch in Deutschland errichtet werde. Die Baukosten dieses 300MW-Brüters wurden mit 310 Millionen DM veranschlagt, die Bauzeit mit 3 Jahren.

Diese, heute nur mehr absurd anmutende Studie war die Grundlage der politischen und industriellen Entscheidungen für ein deutsches Brüterprogramm, das 1972 zum Bau des 300MW-Brüters in Kalkar führte, der schließlich rd. das 25-fache kostete und nach 19 Jahren Bauzeit aufgegeben wurde. Als 1972 der Bau in Kalkar endgültig beschlossen wurde, war der Bau je eines Brüterkraftwerks dieser Größenklasse in Frankreich, Großbritannien und der Sowjetunion nahezu vollendet, zudem in den USA und Japan für die nächste Zukunft geplant. Die Sowjetunion baute bereits ein 600 MW-Brütergroßkraftwerk, in Frankreich und Großbritannien war die Errichtung je eines 1200 MW Brüterkraftwerks für Mitte der 70er Jahre angekündigt; diese Großkraftwerke galten als Vorläufer kommerzieller Serien. In der Bundesrepublik hatte die Planung für ein Brütergroßkraftwerk gerade begonnen. Es schien als gälte es, einen internationalen Wettlauf um die kommerziell einsetzbare Brütertechnologie zu bestehen.

Dieser prestigeträchtige Brüterwettlauf, für den enorme staatliche Mittel eingesetzt wurden, war angeheizt worden durch verheißungsvolle Prognosen wie die des Karlsruher Kernforschungszentrum von 1965. Ähnlich lauteten die Verheißungen der Brütergemeinde auch in anderen Ländern. Erst nachdem ab Mitte der 70er Jahre in der Folge des Zusammenbruchs der Atomkonjunktur in den USA eine generelle Ernüchterung einsetzte, nahmen im Lauf der Zeit die prognostizierten Brüterkosten zu und die prognostizierten Brüterkapazitäten ab. Die bis zum Jahr 2000 zu installierende Brüterkapazität bezifferten die Atombehörden

- USAEC 1974 für die USA zu ca. 450 000 MWe
- UKAEA 1975 für Großbritannien zu 33 000 MWe
- CEA 1978 für Frankreich zu 16 000 bis 23 000 MWe

Tatsächlich wird es im Jahr 2000 in keinem dieser Länder Brüterkraftwerke geben<sup>30</sup>.

Das Projekt des US-amerikanischen 300 MW Brüterkraftwerks wurde 1983 nach zehnjährigem Tauziehen vom US-Senat endgültig begraben. Die britische Regierung beendete 1982 das Projekt zum Bau des 1200 MW Brüterkraftwerks endgültig; der Betrieb des 1975 fertiggestellten 270 MW Brüters wurde im März 1994 eingestellt. Das französische Brütergroßkraftwerk, der 1200 MW Superphenix, wurde als weltweit einziges dieser Klasse

<sup>29</sup> W. Häfele u.a.: Kernbrennstoffbedarf und Kosten verschiedener Reaktortypen in Deutschland. KfK-Bericht 366, Karlsruhe 1965. Die Studie bezifferte für den Zeitraum 1970-85 die Stromerzeugungskosten von Brüterkraftwerken mit 1,62 Pf/kWh gegenüber 1.91 Pf/kWh für Leichtwasserkraftwerke.

<sup>30</sup> In Frankreich könnte das bereits 1973 fertig gestellte 250MW-Brüterkraftwerk Phenix, das seit dem Auftreten von Reaktivitätsstörfällen 1990 nahezu durchgehend zur Durchführung von Reparaturen und Nachrüstungen abgeschaltet blieb, möglicherweise nochmals für Versuchszwecke in Betrieb gehen.

1986 in Betrieb genommen, darf aber seit 1994 nur mit Teillast für Forschungszwecke betrieben werden und soll aufgrund Regierungsbeschluß vom Juni 1997 stillgelegt werden<sup>31</sup>. Das zwar fertiggestellte, aber nicht in Betrieb genommene deutsche 300 MWe Brüterkraftwerk in Kalkar wurde schon 1991 aufgegeben. In Westeuropa und Amerika gibt es keinerlei Planungen mehr zum Bau von Brütern.

Lediglich in Japan und in Rußland existieren noch Brüterprogramme. Die Bauarbeiten am japanischen 280 MW Brüter Monju begannen mit zehnjähriger Verzögerung 1985. Während der Inbetriebnahme kam es im Dezember 1995 zu einem schweren Unfall, dessen Folgen derzeit (Frühjahr 89), noch nicht behoben sind; es ist fraglich, ob der Reaktor noch in Betrieb genommen wird. Zuvor schon war der Bau eines Nachfolgekraftwerks praktisch aufgegeben – formal auf das Jahr 2010 verschoben – worden. Nur in Rußland ist ein großes Brüterkraftwerk, der 1980 fertiggestellte 600 MW-Block BN 600, tatsächlich in Betrieb. Der Bau zweier 800MW Nachfolger wurde 1986/87 begonnen, aber bald danach unterbrochen.

Die Gründe für das weltweite Brüterfiasko liegen zunächst in der überaus hohen technischen Komplexität des Brütersystems, die zu sehr hohen Anlagekosten und Störanfälligkeiten führt. Letztlich ist das darauf zurückzuführen, daß die Kernspaltung im Brüter durch „schnelle“ Neutronen bewirkt wird, was gegenüber den Leichtwasserreaktoren die Gefahr einer nuklearen Exkursion erhöht und kostenintensive Sicherheitsvorkehrungen verlangt. Zudem verlangen die schnellen Neutronen den Einsatz von Natrium als Kühlmittel, das weitere aufwendige Sicherheitsvorkehrungen benötigt, weil es sich an Luft entzündet und bei Berührung mit Wasser explosionsartig reagiert.

Die Bauerfahrungen haben gezeigt, daß die Investitionskosten von Brütern weitaus höher als ursprünglich angenommen – auch als die von Leichtwasserreaktoren – sind. Die Betriebserfahrungen sind katastrophal:

Der Kern des ersten, sehr kleinen amerikanischen Brüterkraftwerks (EBRI) wurde 1955 durch einen schweren Unfall zerstört. 1966 ereignete sich in dem damals größten Brüterkraftwerk (Fermi, USA, 66 MW) ebenfalls ein schwerer Unfall mit teilweiser Kernzerstörung. Über die Relevanz solcher katastrophaler Erfahrungen mit der ersten Brütergeneration kann man streiten. Aber 1995 wurde der japanische 300 MW Brüter schon während der Inbetriebnahme durch Austritt und Brand von drei Tonnen Natrium schwer beschädigt.

Die hohe Störanfälligkeit führte auch bei den vier größeren, weltweit tatsächlich betriebenen Brütern zu miserablen Betriebsergebnissen, wie sich an der Arbeitsausnutzung (dem Verhältnis der tatsächlich erreichten Stromerzeugung zu der bei dauerndem Vollastbetrieb erreichbaren) ablesen läßt<sup>32</sup>. Der britische 270 MW Brüter erreichte während seines Betriebs von 1975 bis 1992 eine Arbeitsausnutzung von etwa 15%. Bis Ende 1996 lag die Ausnutzung des seit 1981 betriebenen russischen 600MW Brüters ebenfalls bei 15%, die des seit 1986 betriebenen französischen 1200MW Superphenix bei ganzen 7%. Selbst die im Verhältnis dazu günstig erscheinende etwa 42%ige Arbeitsausnutzung des seit 1973 betriebenen

---

<sup>31</sup> Am 3.2.98 hat die französische Regierung beschlossen, mit der Demontage noch 1998 zu beginnen.

<sup>32</sup> Die Arbeitsausnutzung ergibt sich aus der elektrischen Leistung und der Stromerzeugung im betrachteten Zeitraum. Die jeweils seit Beginn des kommerziellen Betriebes kumulierte Stromerzeugung betrug laut jährlichen Aufstellungen der *atomwirtschaft* bis Ende 96 beim russischen BN600 11,5 TWh, beim Superphenix 8,2 TWh, beim Phenix 22,0 TWh. Der englische PFR erzeugte 6,7 TWh bis zu seiner Stilllegung im März 1994.

französischen 250MW Phenix weist auf eine für kommerzielle Zwecke unakzeptable Störanfälligkeit hin.

Allein schon diese Betriebserfahrungen zeigen, daß Natriumbrüter wegen der überaus hohen technischen Komplexität für einen kommerziellen Kraftwerksbetrieb untauglich sind. Zudem wiederholten sich die schon mit den Leichtwasserreaktoren hinsichtlich der Baukosten gemachten Erfahrungen in potenziierter Weise:

Der Bau des 300MW Brüter in Kalkar kostete gut 7 Milliarden DM, nahezu 50% mehr als der letzte, mit 1270MW vier mal so leistungsfähige, 1989 fertiggestellte Druckwasserreaktor Neckar 2. Das war kein Ausreißer: der Bau des japanischen 300MW Brüters kostete 8,4 Mrd. DM. Für den Superphenix wurden einschließlich der zahlreichen Reparaturen insgesamt ca. 20 Mrd. DM aufgewendet. Diese Erfahrungen führten schließlich zu der Erkenntnis, daß die Kosten der Brüter für kommerzielle Kraftwerke prohibitiv wären.

Damit nicht genug, erwiesen sich auch die mit dem Brütersystem notwendig verbundenen, wegen des Umgangs mit hoch radioaktiven Stoffen und mit dem hoch toxischen Plutonium ebenfalls außerordentlich komplexen Anlagen zur Wiederaufarbeitung und zur Herstellung von MOX-Brennelementen als weitaus kostspieliger als ursprünglich erwartet. Es stellte sich heraus, daß deswegen sogar die Brennstoffkosten des Brüters – trotz seines geringen Uranbedarfs – erheblich höher als die für Leichtwasserreaktoren sind.

### **Wiederaufarbeitung : anachronistische Hinterlassenschaft**

Inzwischen haben sich Wiederaufarbeitung und MOX-Fabrikation verselbständigt. Sie überleben ihren ursprünglichen Zweck, Brennstoff für Brüter zu liefern, und dies mit geradezu absurden Resultaten.

Die WAA-Technologie wurde zuerst in den Atomwaffenstaaten zur Gewinnung von Waffenplutonium aus militärischen Reaktoren entwickelt. In den 60er Jahren entstanden für den anders gearteten (oxydischen) Brennstoff der Leichtwasserreaktoren diverse Pilotanlagen, in Großbritannien (Windscale) und den USA (West Valley) auch zwei erste, für kommerziellen Betrieb gedachte Großanlagen, die Anfang der 70er Jahre wegen andauernder Pannen stillgelegt wurden. Mitte der siebziger Jahre, zur Zeit des noch ungebrochenen Bestellbooms für Leichtwasserreaktoren und der verheißungsvollen Brüterprognosen, wurden große, kommerzielle WAA in den USA, Großbritannien, Frankreich und Deutschland zur Inbetriebnahme Anfang der 80er Jahre geplant<sup>33</sup>. Tatsächlich war bis um 1990 in der westlichen Welt – bis auf kleine Pilotanlagen – nur eine kommerziell arbeitende WAA im französischen La Hague in Betrieb. Um 1980 fielen dann in Frankreich und Großbritannien die Beschlüsse zum Bau der kommerziellen Großanlagen, die seit Anfang der 90er Jahre größtenteils ausländische, hauptsächlich deutsche und japanische, Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren wiederaufarbeiten.

Die deutschen Pläne zum Bau der WAA in Wackersdorf wurden 1989 aufgegeben. In den USA wurden schon in den siebziger Jahren die beiden im Bau befindlichen Großanlagen aufgegeben; Wiederaufarbeitung gibt es dort nur im militärischen Bereich. Nur in Japan ist noch (seit 1993) eine große WAA, Duplikat einer französischen Anlage, im Bau.

---

<sup>33</sup> Vgl. OECD/NEA-IAEO: Uranium Resources, Production and Demand. Paris 1975

Daß die Wiederaufarbeitung in Deutschland und den USA aufgegeben, in anderen Atomstrom produzierenden Industrieländern nicht mehr ernsthaft geplant wurde, hat auch mit Widerständen gegen sie zu tun, ist aber letztlich auf ständig gestiegene Kosten und daraus resultierende Unwirtschaftlichkeit zurückzuführen. So erhöhten sich die offiziellen französischen Angaben für die Kosten der Wiederaufarbeitung<sup>34</sup> von 1972 bis 1981 inflationsbereinigt um den Faktor 10. Bei Baubeginn 1981 wurden dann die Kosten für eine WAA (Kapazität 800 Tonnen Uran jährlich) mit 11 Milliarden Francs angegeben; sie stiegen nochmals auf nahezu das dreifache. Auch das war noch nicht das Ende der Lernkurve: 1996, nach drei Jahren Bauzeit, wurde für die mit französischer Technologie geplante japanische WAA eine Verdoppelung der ursprünglich veranschlagten Kosten auf rd. 20 Milliarden DM bekannt gegeben<sup>35</sup>. Auch die Kosten der Fabrikation von Plutonium-(MOX-)Brennelementen stiegen im Lauf der Zeit dramatisch.

Wie schon gesagt erschien die Wiederaufarbeitung zunächst als Selbstverständlichkeit wegen des erwarteten Übergangs der Atomstromerzeugung zu Brütern; das Plutonium aus den Leichtwasserreaktoren sollte das Startkapital für Brüter sein. Verzögerungen in den Brüterprogrammen führten zunächst in Deutschland und Belgien, später erst in dem noch lange auf Brüter fixierten Frankreich dazu, daß das Leichtwasser-Plutonium auch zu MOX-Brennelementen verarbeitet in Leichtwasserreaktoren zurückgeführt wird. Das führt zwar zu einer bescheidenen (15-30%igen) Erhöhung der Uranausnutzung, aber keineswegs zur Senkung der Brennstoffkosten. Vielmehr stellte sich angesichts der im Lauf der Zeit zunehmenden Erkenntnisse über die Kosten der Wiederaufarbeitung und über die gleichsinnig steigenden Kosten der MOX-Fabrikation schon in den 80er Jahren heraus, daß Wiederaufarbeitung und Plutoniumrückführung die Brennstoffkosten empfindlich belastet, für Leichtwasserreaktoren also die Wiederaufarbeitung mit Rückführung des gewonnenen Plutoniums unwirtschaftlich ist.

Dennoch sorgte die Trägheit des Systems dafür, daß die Wiederaufarbeitung von Brennstoff aus Leichtwasserreaktoren in großem Stil erst Anfang der 90er Jahre, seit Inbetriebnahme der großen französischen Anlagen, in Gang kam. Mangels größerer Kapazitäten zur MOX-Fabrikation war die Plutoniumrückführung quantitativ unbedeutend, bis 1995 auch eine große MOX-Anlage im französischen Marcoule den Betrieb aufnahm. Aber weiterhin wird in den französischen und britischen kommerziellen WAA weit mehr Plutonium produziert, als weltweit in Reaktoren zurückgeführt wird.

In Japan mag das Festhalten an der WAA an den – jedenfalls bis zum Monju-Störfall – hochgehaltenen Brütererwartungen liegen. In Deutschland wurde erst 1994, nach der Aufgabe der WAA (1989) und des Brütters (1991), durch Novellierung des Atomgesetzes die bis dahin geltende Verpflichtung zur Wiederaufarbeitung aufgehoben. Bis dahin *mußten* die Atomkraftbetreiber die (noch länger laufenden) Verträge zur Wiederaufarbeitung in Großbritannien oder Frankreich abschließen.

Die infolge des Verschwindens der Brütererwartungen nunmehr sinnlose, kostspielige Wiederaufarbeitung von Leichtwasserbrennstoff läuft weiter, weil die Anlagen und sonstigen, auch rechtlichen Infrastrukturen als Folge einstiger, völlig unrealistischer Verheißungen

---

<sup>34</sup> Vgl.: Finon, D.: Fast Breeder Reactors. Energy Policy, Dezember 1982.

<sup>35</sup> Vgl.: Jahrbuch der atomwirtschaft 1997, S.240f.



geschaffen wurden. Sie produziert nicht nur unnötige Kosten, sondern auch notorisch hohe radioaktive Emissionen, vor allem aber höchst unerwünschtes Plutonium.

Allein die französische Anlage in La Hague separierte im vergangenen Jahr (1997) rd. 16 Tonnen Plutonium, je etwa zur Hälfte aus französischen und ausländischen (überwiegend deutschen und japanischen) Leichtwasserreaktoren. Vergleichbare Mengen an Plutonium dürften demnächst in der eigens für ausländische Leichtwasserreaktoren errichteten "Thorp"-WAA im englischen Sellafield separiert werden, deren voller Betrieb 1998 beginnen soll. Sie addieren sich kontinuierlich zu den bereits je rd. 60 Tonnen Plutonium, die in Großbritannien und Frankreich lagern und überwiegend aus inländischen Kernkraftwerken stammen<sup>36</sup>. Hinzu kommt das Waffenplutonium, das aus der Verschrottung amerikanischer und russischer Atomwaffen stammt<sup>37</sup> – alles in allem eine schreckliche Hypothek, denn für eine Atombombe reichen weniger als 10 kg dieses wohl gefährlichsten aller Stoffe, inkorporiert genügt ein Millionstel Gramm, um einen Menschen zu töten. Niemand weiß wirklich, wie diese Hypothek zu tilgen ist.

Etwa 25 Tonnen separiertes Plutonium, die zum größten Teil in La Hague lagern, sind deutschen Ursprungs. Darüber hinaus enthält der Brennstoff, dessen Wiederaufarbeitung zwischen deutschen Kraftwerksbetreibern und den WAA-Betreibern in England und Frankreich derzeit (Frühjahr 1998) bereits vertraglich vereinbart ist, noch einmal rd. 50 Tonnen Plutonium. Es wird höchste Zeit, diesen enorm gefährlichen, zudem wirtschaftlich widersinnigen Unfug zu beenden.

### **Kernfusion: Zum Status quo**

In den existierenden Atomkraftwerken wird Energie durch Spaltung (Fission) schwerer (Uran- und Plutonium-) Atomkerne freigesetzt. Bei der Kernfusion geschieht dagegen die Energiefreisetzung durch Verschmelzung (Fusion) leichter Atomkerne. Beide Reaktionen wurden zuerst in Bomben angewendet, die Spaltung in den Atombomben, die Fusion in den Wasserstoffbomben. Während (zunächst kleine) funktionsfähige Atomreaktoren bereits innerhalb weniger Jahre nach Beginn der militärischen atomtechnischen Forschung entstanden, hat die schon seit den 50er Jahren mit enormem Aufwand betriebene Fusionsforschung erst in den 90er Jahren überhaupt Fusionsreaktionen hervorgebracht, die zudem nur wenige Sekunden andauerten. Ob es je gelingt, einen Strom erzeugenden Fusionsreaktor herzustellen, ist ungewiß; jedenfalls läge er in weiter Ferne.

Schon diese Gegenüberstellung weist darauf hin, daß es bei Fusionsreaktoren um noch weit schwierigere technische Probleme geht als bei den Kernspaltreaktoren.

Fusionsreaktionen laufen in der Sonne ab und erzeugen die Strahlung, die unsere Erde wärmt. Damit eine Fusionsreaktion ablaufen kann, muß die elektrische Abstoßung der zu fusionierenden "leichten" Atomkerne überwunden werden. Dafür muß ihnen eine enorme Energiemenge zugeführt werden, so daß Fusionsreaktionen nur bei – für irdische Verhältnisse unvorstellbaren – Temperaturen von über hundert Millionen Grad stattfinden

---

<sup>36</sup> Angaben über Plutoniummengen aus: WISE-Paris, *Plutonium Investigation*, N° 1 bis 5, November 1997 bis April 1998.

<sup>37</sup> Die amerikanische Regierung hat (zufolge Jahrbuch der atomwirtschaft 1977, S.296) am 7.2.96 Dokumente veröffentlicht, aus denen ein Bestand an separiertem Plutonium von 99,5 Tonnen hervorgeht, zuzüglich rd. 100 Tonnen in Brennelementen gebundenen Plutoniums.

können. Bei solchen Temperaturen liegt die Materie als Plasma vor: die (elektrisch positiven) Atomkerne sind nicht – wie unter irdischen Verhältnissen – von einer Elektronenhülle umgeben, sondern die Elektronen sind von den Atomkernen abgestreift; die Kerne schwimmen gleichsam in einer "Wolke" freier Elektronen. Ein solches Plasma kann naturgemäß nicht durch feste Wände eingeschlossen werden; das Konzept eines Fusionsreaktors beruht auf einem magnetischen Einschluß, in einer bisher hauptsächlich für militärische Experimente verfolgten Variante auf einem "Trägheitseinschluß".

Prinzipiell sind Fusionen unterschiedlicher Partner (leichter Atomkerne) denkbar. Die Fusionsforschung hat sich praktisch ausschließlich auf die Fusion der Wasserstoff-Isotope Deuterium (D) und Tritium (T) – die "D-T Reaktion" – konzentriert, die bei ca. 140 Millionen Grad optimal abläuft<sup>38</sup>. Andere denkbare Fusionsreaktionen würden noch extremere Temperaturen erfordern<sup>39</sup>.

Bei der D-T-Fusion entstehen aus den beiden unterschiedlich schweren Wasserstoffkernen ein Heliumkern und ein energiereiches Neutron, das als elektrisch neutrales Teilchen aus dem magnetischen Einschluß entweichen kann und seine Energie an einen ersten Kühlkreislauf abgibt, dabei Wasser resp. Helium erwärmt. Diese Wärme soll in einem (hypothetischen) Fusionskraftwerk an einen zweiten Kreislauf übertragen werden, in dem, wie in konventionellen Kraftwerken, Wasserdampf zum Antrieb einer Dampfturbine erzeugt wird.

Deuterium kann in praktisch unbegrenzten Mengen aus Meerwasser gewonnen werden, Tritium – ein radioaktives Element mit nur 12 Jahren Halbwertszeit – kommt dagegen in der Natur nur in Spuren vor. Es soll in einem Fusionsreaktor aus Lithium durch Beschuß mit den bei der Fusion entstehenden Neutronen "erbrütet" werden. Deuterium und Lithium sind für praktisch unbegrenzte Energiebereitstellung verfügbar<sup>40</sup>.

Die Konzepte für den magnetischen Einschluß beruhen – wie die bisher ausgeführten Großexperimente – praktisch ausschließlich auf dem Tokamak-Prinzip, einer in Rußland entwickelten torusförmigen Anordnung des Plasmas<sup>41</sup>. Das Plasma befindet sich in Form eines Autoreifens innerhalb ringförmiger Magnetfeldspulen, die sowohl seinem Einschluß als auch seiner Aufheizung dienen. Der Einschluß verlangt Magnetfeldstärken, die praktisch nur mit supraleitenden Spulen erreichbar sind. Auf begrenzten Raum müssen diese bei Tiefst-Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt operierenden Spulen vor der im Plasma herrschenden Temperatur von über hundert Millionen Grad und vor dem Beschuß durch die energiereichen Fusionsneutronen geschützt werden.

Eine erste feste Stahlwand soll das Entweichen des radioaktiven Tritiums verhindern. Sie wird von den aus dem Plasma entweichenden Fusionsneutronen bombardiert, versprödet daher und wird radioaktiv. So wird sie nach wenigen Jahren ersetzt werden müssen, was nur fernbedient geschehen könnte und erhebliche Mengen radioaktiven Abfalls erzeugt. Der

---

<sup>38</sup> Dort die höchste Fusions- Leistungsdichte erreicht.

<sup>39</sup> Vgl. z.B. W. Liebert: "Aussichten nuklearer Energieversorgung für die Zukunft". In: W. Bender (Hrsg.): "Verantwortbare Energieversorgung für die Zukunft", TUD-Schriftenreihe Wissenschaft und Technik, Darmstadt, 1998.

<sup>40</sup> Knappheiten könnten allerdings durch die begrenzte Verfügbarkeit von Metallen (z.B. Beryllium, Wolfram) entstehen, die für die Realisierung benötigt werden.

<sup>41</sup> Eine Fortentwicklung dieses Prinzips ist der Stellarator, der als Großexperiment für 600 Millionen DM in Greifswald gebaut wird mit dem Ziel, lange Einschluzeiten des Plasmas (ohne Zündung) zu erreichen.

Schutz der Magnetspulen vor den Fusionsneutronen erfordert eine hinter der ersten Wand angeordnete Abschirmung, die den Neutronenfluß um etwa den Faktor eine Million reduzieren muß. Das lithiumhaltige "Blanket", das zum Erbrüten des Tritiums dient, kann diese Funktion nur teilweise übernehmen. Blanket und Abschirmung müssen durch den ersten Kühlkreislauf gekühlt werden<sup>42</sup> und von einer zweiten, als Hochvakuumgefäß dienenden torusförmigen Wand umschlossen sein.

In Leichtwasserreaktoren geschieht die Energiefreisetzung und -abfuhr im kompakten Reaktorkern bei sehr hoher Leistungsdichte. Im Verhältnis dazu wäre die Leistungsdichte im Plasma eines Fusionsreaktors sehr gering<sup>43</sup>. Das führt zu enormen Abmessungen, zumal auch die Leistung von Fusionskraftwerken noch höher als bei heutigen Kernkraftwerken liegen müßte<sup>44</sup>.

Schon anhand dieser knappen Übersicht über das Funktionsprinzip eines Fusionsreaktors kann man ermessen, daß es um technische Probleme von enormen Ausmaßen geht. Ob deren Bewältigung überhaupt gelingt, das ist auch derzeit, nach fünf Jahrzehnten Fusionsforschung und -entwicklung, noch unsicher. Bisher ist es lediglich gelungen, in je einer großen Fusionsanlage der USA (TFTR in Princeton) und der Europäischen Union (JET in Culham) einige Mal eine Fusionsreaktion zu erzeugen (ein Plasma zu "zünden"), bei der während weniger Sekunden einige Megawatt Leistung freigesetzt wurden – wobei zur Aufheizung des Plasmas stets mehr Energie aufgebracht werden mußte, als dann freigesetzt wurde.

Der Aufwand dafür in den großen Industriestaaten, in den USA, der EU, der Sowjetunion und Japan war immens. Allein in der Europäischen Union sind im vergangenen Jahrzehnt jährlich rd. eine Milliarde DM in die Fusionsforschung geflossen; knapp die Hälfte (45%) davon stammt aus der EU-Kommission (GD XII), der Rest aus den nationalen Haushalten<sup>45</sup>. Schon 1958, bei Gründung der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft, wurde ein EURATOM- Fusionsprogramm aufgelegt, das dann kontinuierlich bis zum derzeitigen EU-Programm fortgeschrieben wurde. Die seit Ende der 60er Jahre in Europa in die Fusion investierten Mittel werden mit 8 Milliarden ECU, davon 45% Kommissionsmittel, beziffert<sup>46</sup>. In Deutschland hat allein das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) in den 80er und 90er Jahren jährlich im Durchschnitt knapp 200 Millionen DM mit steigender Tendenz für Fusionsforschung in den Großforschungszentren

---

<sup>42</sup> Das zum Erbrüten von Tritium dienende Lithium könnte zwar aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften gleichzeitig als Kühlmittel dienen. Das erscheint aber angesichts der schlechten Erfahrungen in Brüttern mit Natrium, das verwandte Eigenschaften besitzt, als unrealistisch.

<sup>43</sup> Die auf das Volumen bezogene Leistungsdichte liegt im Kern von Druckwasserreaktoren bei  $100 \text{ MW/m}^3$ , bei Fusionsreaktoren nach dem Tokamak-Prinzip läge sie im Plasma in der Größenordnung ein bis wenige  $\text{MW/m}^3$ .

<sup>44</sup> So ist das Gebäude des ITER, der bezüglich Größe und Komplexität noch weit von einem Kraftwerksreaktor entfernt ist, mit einem Durchmesser von 71m bei rd. 100m Höhe projektiert. Vgl. J. Dietz, Fusionsexperiment ITER, atw 5/96, S.317.

<sup>45</sup> Vgl. das 8.9.97 datierte Dokument EUR FU(97)CCFP 73/2.2. der EU-Kommission, DG XII: dort werden die durchschnittlichen jährlichen europäischen Ausgaben für Fusionsforschung im Zeitraum 1994-98 mit 498 Millionen ECU (MECU) spezifiziert, davon 224 MECU Anteil der Kommission. Auch Ende der 80er Jahre lagen die europäischen Ausgaben auf etwa diesem Niveau; vgl. BMFT, 3. Programm Energieforschung und Energietechnologien. Bonn, Februar 1990, S.95.

<sup>46</sup> EU Presidency Note on the European Nuclear Fusion Programme, Brussels, 25.4.1997, S.4.

Garching, Jülich und Karlsruhe ausgegeben. Einschließlich zusätzlicher Mittel aus den Sitzländern dieser Zentren und der EU (aus der letztlich deutsche Beiträge zurückfließen) liegt das Niveau der jährlichen Aufwendungen bei 300 Millionen DM<sup>47</sup>.

Ein Großexperiment, der "Joint European Torus (JET)", bildet das Kernstück des europäischen Fusionsprogramms. Es wurde 1972 mit der Bildung einer Arbeitsgruppe für das Design initiiert, der Bau in Culham, England begann 1978 als EG-Unternehmen. Eine Fusion konnte erstmals 1991, nach acht Betriebsjahren, gezündet werden<sup>48</sup>; im Herbst 1997 wurde eine Leistung von 12 MW während einer Sekunde erreicht und als Weltrekord gefeiert.

Eher noch höher als in Europa waren die Aufwendungen in den USA. Neben der aus dem zivilen Forschungsbudget finanzierten Magnetfusion wird aus militärischem Interesse dort, wie auch in Frankreich, zudem die Trägheitsfusion intensiv verfolgt. Die jährlichen Aufwendungen der USA für die zivile Fusionsforschung erreichten in der ersten Hälfte der 80er Jahre, in der Folge des Harrisburg-Unfalls, ein Niveau um knapp 500 Millionen\$, lagen dann, wie zuvor, um 350 Mill.\$ und wurden ab 1995 rigoros (auf 244Mill\$ in 1996) reduziert. Ein zum europäischen JET paralleles Großexperiment, der "Tokamak Fusion Test Reactor (TFTR)", erzielte 1993 eine D-T-Fusionsreaktion von 5,6MW Leistung während einer Sekunde (auch ein gefeierter "Weltrekord"), wurde aber 1997 beendet.

Allerdings steigen in den USA die Aufwendungen für die Trägheitsfusion, bei der Kügelchen von wenigen Millimetern Durchmesser, die Deuterium und Tritium enthalten, von gigantischen Hochenergielasern blitzartig beschossen werden. Würde so das Ziel, die Zündung einer Fusionsreaktion, erreicht, so käme das einer Miniatur-Wasserstoffbombe gleich. Diese Analogie begründet das militärische Interesse, das insbesondere wegen des Atomteststopps – auch in Frankreich – noch gestiegen ist<sup>49</sup>. Die technologischen Hürden für die Realisierung eines Fusionskraftwerks wären aber bei der Trägheitsfusion kaum niedriger als bei der Magnetfusion<sup>50</sup>.

Nach den Großexperimenten JET, TFTR sowie dem JT-60 in Japan, mit denen erstmals für Sekunden eine Kernfusion gezündet wurde, soll als nächste Stufe auf dem Weg zum Fusionskraftwerk eine Großanlage die Machbarkeit eines Fusionsreaktors demonstrieren. Zunächst war dafür in Europa wieder ein Gemeinschaftsprojekt, der "Next European Torus (NET)", vorgesehen, den eine 1983 in Garching gebildete Studiengruppe projektieren sollte. Angesichts enormer Aufwendungen für eine solches Großanlage sollte sie dann, wie 1988 anlässlich eines G7-Treffens beschlossen, gemeinsam von EG, USA und Japan realisiert werden. Diese Partner, erweitert um Rußland, schlossen 1992, nachdem ein Entwurf samt

---

<sup>47</sup> Diese Aufwendungen ergeben sich aus Angaben in Bundesberichten Forschung, diverse Jahrgänge, sowie aus dem 3. sowie 4. Programm Energieforschung und Energietechnologie des BMFT bzw. BMBF.

<sup>48</sup> D-T-Reaktion von 1,7MW Leistung während 1,7 Sekunden

<sup>49</sup> Trägheitsfusionsexperimente sollen anstelle von Testexplosionen das Know-how für Wasserstoffbomben erhalten und weiterentwickeln. Das Strategiepapier der EU-Kommission Eur FU (97) CCFP 73/2.2 stellt fest, Trägheitsfusion "is linked to defense programmes rather than to energy research programmes".

<sup>50</sup> Die technologischen Probleme lassen sich ablesen an der Planung des auf 1,2 Milliarden US\$ veranschlagten US-Forschungsprojekts "National Ignition Facility (NIF)", das eine Trägheitsfusion mit positiver Energiebilanz realisieren soll. So ist die erforderliche Laserleistung wie auch die Größe der Anlage gigantisch, die Herstellung der winzigen Brennstoffpellets problematisch, der Erfolg ungewiß. Vgl. V. Drach: Laserfunktion als zukünftige Energiequelle? IZE Stromthemen 3/98.

Kostenanschlag für diesen "Internationalen thermonuklearen experimentellen Reaktor (ITER)" vorlag, einen Vertrag, der eine gemeinsame detaillierte Ingenieurplanung und, darauf aufbauend, für 1988 den Baubeschluß vorsah.

Als Ergebnis der Planung soll ITER 1500MW Fusionsleistung während 1000Sekunden ermöglichen, freilich ohne Strom zu erzeugen. Der Bau soll zehn Jahre dauern und ca. 15 Milliarden DM kosten; dann soll ITER 20 Jahre lang für jährlich etwa 800 Millionen DM betrieben werden.<sup>51</sup> Im Februar 1998 beschloß der ITER-Council nicht, wie vorgesehen, den Bau des Reaktors, sondern ein Verschieben der Entscheidung um vorerst drei Jahre. Keiner der beteiligten Staaten bewarb sich darum, den ITER auf seinem Territorium zu errichten und einen dementsprechend bedeutenden Teil der Kosten zu tragen<sup>52</sup>.

### **Eine unendliche Geschichte**

Die Verschiebung lag nicht an Mängeln der technischen Vorbereitung des Projekts oder der darauf fußenden Kostenkalkulation<sup>53</sup>, sondern an der wachsenden Verbreitung von Zweifeln am Sinn dieses Mammutprojekts. Dabei ist es aufgrund der Entwicklungslogik der Magnetfusion klar, daß sie am Ende wäre, wenn der ITER oder ein vergleichbares Projekt nicht realisiert würde.

Zufolge dieser international akzeptierten Logik ist Bau und Betrieb des ITER eine grundlegende Voraussetzung für den "DEMO", das erste Strom erzeugende Fusionskraftwerk. Auf der Basis der mit Bau und Betrieb des DEMO gewonnenen Erfahrungen könnten schließlich kommerziell verwendbare Fusionsreaktoren gebaut werden. Auf dieser Strategie beruht die derzeitige, international übliche Sprachregelung, Fusionskraftwerke könnten ab dem Jahr 2050 verfügbar sein<sup>54</sup>.

Zweifel am Sinn der Sache werden naturgemäß allein dadurch schon geweckt, daß es – nach bald einem halben Jahrhundert Fusionsforschung – nun bis zur praktischen Anwendbarkeit noch ein weiteres halbes Jahrhundert dauern soll. Wäre diese säkulare Perspektive von Anfang an bekannt gewesen, so hätte wohl kaum ein Staat Mittel für die Fusionsforschung bewilligt. Die Erwartungen wurden aber zunächst durch weit kurzfristige Prognosen geprägt.

Bald nach Zündung der ersten Wasserstoffbombe 1952 wurde die kontrollierte Kernfusion als Energiequelle in Fachkreisen wie in der Öffentlichkeit thematisiert. Auf der Genfer Atomkonferenz der UN von 1955 prophezeite deren Präsident, der Physiker Bhabha, in etwa zwanzig Jahren könne man mit der Verwirklichung der Kernfusion rechnen<sup>55</sup>. Zwei Jahrzehnte lang blieb es dabei, die Realisierung von Fusionskraftwerken jeweils in zwanzig

---

<sup>51</sup> Vgl. a.a.O.: EUR FU (97) CCFP 73/2.2, S.5

<sup>52</sup> Zunächst hatte Frankreich, dann Deutschland (Standort Greifswald), schließlich Japan Interesse angemeldet.

<sup>53</sup> Laut der Süddeutschen Zeitung vom 26.2.98 berichtete Klaus Pinkau, Direktor des IPP, der ITER-Council habe die Vorbereitung ausdrücklich gelobt und als ausreichend für einen Baubeschluß befunden.

<sup>54</sup> Vgl. EU Presidency Note vom 25.4.97, a.a.O.: "The current strategy goes from JET to ITER to DEMO to commercial reactor as from the year 2050."

<sup>55</sup> Vgl. Jochen Radkau: Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945 – 1975. Reinbek 1983, S.67. Dort wird auch eine absurde Mitteilung aus der Zeitschrift "Außenpolitik" von 1954 zitiert, die Kernfusion solle "in zwei Jahren etwa verwendungsreif sein".

Jahren in Aussicht zu stellen<sup>56</sup>. Mitte der siebziger Jahre, als die Planung für den JET Gestalt annahm, hieß es, "daß der Bau eines wirtschaftlich arbeitenden Fusionsreaktors Anfang des nächsten Jahrhunderts möglich wird"<sup>57</sup>. In etwas vorsichtigerer Form findet sich diese Sprachregelung noch 1984 im Bundesbericht Forschung<sup>58</sup>. Seit Ende der 80er Jahre, als sich die Internationalisierung der Stufen ITER und DEMO anbahnte, war dann von fünfzig Jahren die Rede<sup>59</sup>. Diese fünfzig Jahre sind ein weiteres Jahrzehnt erhalten geblieben; 1996 verlautbarte aus dem BMBF: "Experten schätzen, daß ein Fusionsreaktor nicht vor dem Jahr 2050 einsetzbar sein wird"<sup>60</sup>.

Der für kostenintensives Experimentieren bis zur möglichen Realisierung von Fusionskraftwerken erforderliche Zeitraum hat sich also seit den 50er Jahren von zunächst zwanzig bis auf nunmehr hundert Jahre ausgedehnt. Darin drückt sich aus, daß die Fusionsforschung zunehmend Hindernisse für die Realisierung von Fusionsreaktoren zu Tage gefördert hat. Fortschreitende Erkenntnisse führten seit Anfang der 80er Jahre auch dazu, daß "Dissidenten" unter den Fusionsforschern die Erreichbarkeit der gesetzten Ziele bestritten. Darauf hat insbesondere Jochen Benecke 1987 aufmerksam gemacht durch eine Kolumne in bild der wissenschaft, die eine längere Kontroverse auslöste<sup>61</sup>.

Benecke bezog sich insbesondere auf eine 1983 veröffentlichte Arbeit des stellvertretenden Direktors des Plasma-Fusions-Zentrums am Massachusetts Institute of Technology (MIT), Lawrence M. Lidsky. Der schloß aus detaillierten Reaktorstudien und einer Fülle von Beobachtungen, daß Fusionskraftwerke für den wirtschaftlichen Einsatz weitaus zu teuer und zu unzuverlässig sein werden. Lidsky resümierte: "Selbst wenn das Fusionsprogramm einen Reaktor hervorbrächte, so würde ihn niemand haben wollen". Ein Jahr später, 1984, hatten zwei Mitglieder der wissenschaftlichen Leitung des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik, Dieter Pfirsich und Karl-Heinz Schmitter "Einige kritische Beobachtungen zu den Aussichten der Fusionsenergie" veröffentlicht und ähnliche vernichtende Schlüsse wie Lidsky bezüglich Kosten und Zuverlässigkeit von Fusionskraftwerken gezogen.

Solche Kritik von "Dissidenten" aus den eigenen Reihen in Verbindung mit der ständigen Ausdehnung des Zeitrahmens führte zunehmend zur Ernüchterung und 1995 zur schon erwähnten, drastischen Kürzung des Fusionsetats in den USA, der auf nur mehr ca. 40% der europäischen Aufwendungen schrumpfte. Eine Mehrheit von 8 EU-Ländern verlangte im Herbst 1995 eine umfassende Neubewertung des ITER-Projekts; darüber hinaus sei die

---

<sup>56</sup> D. Pfirsich und K.H. Schmitter, beide Direktoren des Garching IPP, schrieben in bild der wissenschaft 10/1987: "Von 50 oder 70 Jahren spricht man...erst seit etwa 1980, während man 20 Jahre lang davor von jeweils 20 Jahren bis zur Einsatzfähigkeit der Fusion sprach."

<sup>57</sup> Max-Planck-Institut für Plasmaphysik(IPP): Energie durch Kernfusion, Oktober 1975.

<sup>58</sup> Deutscher Bundestag, Drucksache 10/1543, S.107: "Langfristiges Ziel der Forschungsaktivitäten ist der Bau eines Fusionsreaktors um die Jahrhundertwende."

<sup>59</sup> So K. Pinkau (IPP) in bild der wissenschaft 4-1987: "...frühestens in 50 Jahren als Kraftwerk ausprobiert werden kann." 1992, als der internationale ITER-Vertrag abgeschlossen wurde, nannte der US-Energieminister für den DEMO das Jahr 2025 und für ein erstes kommerzielles Fusionskraftwerk 2040. Vgl. IZE Presseblick 1992, S.47.

<sup>60</sup> Broschüre des BMBF: 4. Programm Energieforschung, Juli 1996, S. 87.

<sup>61</sup> Jochen Benecke: Kernfusion ist keine Alternative. In: bild der wissenschaft 2-1987. Kontroverse Briefe aus dem IPP-Direktorium dazu in den Ausgaben 4, 6, 8 und 10-87.

Fusionsoption von "unabhängigen Experten" darauf zu prüfen, ob sie im Vergleich zu alternativen Energiequellen für das nächste Jahrhundert sinnvoll sei<sup>62</sup>.

In der Folge legte eine von der European Science and Technology Assembly (ESTA) berufene Kommission von Physikern einen Bericht vor<sup>63</sup>, der eine gründliche Überprüfung der wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Aussichten der Ziele des Fusionsprogramms anmahnt. Die Kommission äußert sich insbesondere kritisch zum ITER-Projekt: es gäbe wachsende Befürchtungen, daß ITER die geplanten Ziele nicht erreicht. Die Voraussagen über die erreichbare Fusionsleistung und deren Dauer beruhten auf höchst optimistischen Annahmen und auf nicht getesteten Technologien; die physikalisch-technischen Unsicherheiten sprächen für weitere Forschung vor einer eventuellen Realisierung.

Zweifel an den theoretischen Grundlagen und damit an der Seriosität der ITER-Voraussagen wurden insbesondere geweckt durch das *Institute for Fusion Studies* an der Universität von Texas<sup>64</sup>. Eine dadurch innerhalb der Fusionsgemeinde ausgelöste Kontroverse wurde im Dezember 1966 durch einen umfangreichen Bericht des Wissenschaftsmagazins *Science* einer größeren Öffentlichkeit bekannt, in Deutschland kurz darauf durch einen Artikel in der Frankfurter Rundschau<sup>65</sup>.

Die Kontroverse machte deutlich, daß sich das Verhalten eines großen Plasmas nur sehr unscharf voraussagen läßt, so daß die in einem ITER erreichbare Fusionsleistung wohl bis zu dessen Realisierung innerhalb weiter Grenzen unbestimmt bliebe. Selbst der wissenschaftliche Direktor des Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), Klaus Pinkau, äußerte gegenüber der Frankfurter Rundschau (a.a.O.), es handele sich um einen theoretischen Streit, den nur die Praxis entscheiden könne – deswegen solle man den ITER nun bauen. Eine Entscheidung, ob man Fusionsreaktoren großtechnisch bauen könne, werde dann in etwa zwanzig Jahren fallen.

Nun sei einmal angenommen, daß der ITER doch noch realisiert wird, daß er doch die in ihn gesetzten Erwartungen erfüllt, daß die Gemeinschaft der Industriestaaten darauf hin in zwanzig Jahren wiederum eine Entscheidung zur weiteren Verfolgung des Fusionsprogramms, zur Finanzierung des DEMO fällt, daß dessen positive Ergebnisse schließlich, wie derzeit prognostiziert, nach 2050 den Bau von Fusionskraftwerken technisch ermöglichen. Unterstellen wir weiter, die Bedenken wegen des Anfalls großer Mengen radioaktiven Strukturmaterials und, vor allem, wegen der Herstellung und Nutzung von

---

<sup>62</sup> DER SPIEGEL 19/1996, S.193

<sup>63</sup> ESTA ist ein Beratungsgremium der EU-Kommission. Die hier wiedergegebenen Aussagen des Berichts sind einem Artikel "Now Europe's physicists seek shift in strategy for fusion research" im Wissenschaftsmagazin *Nature*, 25.4.1996, entnommen, der auf einem Entwurf des Berichts basierte.

<sup>64</sup> W. Dorland und M. Kotschenreuther präsentierten der Fusionsgemeinde Mitte 1995 Modellrechnungen für das Plasmaverhalten, die eine wesentlich geringere Fusionsleistung des ITER als die offiziell vorausgesagte ergaben

<sup>65</sup> James Glanz: Behind the Official Optimism, Flawed projections. *Science* Volume 274, 6.12.1996, p.1600ff.  
K.H.Karisch: Um die künstliche Sonne der Fusionsforscher wird es kühler. Frankfurter Rundschau, 13.12.1996.

Tritium<sup>66</sup>, werden als nicht so gravierend angesehen, daß sie der Verbreitung von Fusionskraftwerken im Wege stünden.

Alle diese, in der Summe kaum sehr wahrscheinlichen Voraussetzungen sind notwendige, aber noch nicht hinreichende Bedingungen dafür, daß dann die Fusion als Energiequelle genutzt wird. Sie müßte auch wirtschaftlich attraktiv sein. Das halten "Dissidenten" wie die schon erwähnten Physiker Lidsky, Pfirsich, Schmitter und Benecke für ganz unwahrscheinlich.

Sie argumentieren einerseits mit – im Vergleich zu Leichtwasserreaktoren – enorm hohen Investitionskosten für Fusionsreaktoren infolge deren extremer Abmessungen und Komplexität, die allein schon zu völlig undiskutablen Stromerzeugungskosten führen würden. Andererseits neigten Fusionsreaktoren, wie Zuverlässigkeitsanalysen anhand von Reaktorentwürfen zeigten, zwar weniger als Leichtwasserreaktoren zu schweren Unfällen mit katastrophalen Folgen, dagegen weit häufiger zu Störfällen im radioaktiven nuklearen Bereich, die fernbediente, also sehr zeitaufwendige Reparaturen nach sich zögen. Daher werde auch die Verfügbarkeit von Fusionsreaktoren für einen wirtschaftlichen Kraftwerksbetrieb als zu mangelhaft angesehen – ganz abgesehen von der Gefahr der Freisetzung von Tritium bei solchen Störfällen.

Selbstredend stoßen diese Darlegungen in der Fusionsgemeinde auf Widerspruch. So widerspach IPP-Direktor Pinkau im Rahmen der oben beschriebenen, in *bild der wissenschaft* ausgetragenen Kontroverse, mit dem Argument, daß "die Wirtschaftlichkeit einer technischen Entwicklung, die frühestens in 50 Jahren zum Einsatz kommen kann, heute nicht beurteilbar ist". Richtig ist zweifellos, daß, wie Pinkau fortfuhr, "sich jetzt kein hieb- und stichfester Beweis der Unwirtschaftlichkeit führen" läßt. Aber heißt das, die enorm aufwendige Fusionsforschung müsse bis zum hieb- und stichfesten Beweis der Unwirtschaftlichkeit fortgeführt werden? Wie wäre solch ein Beweis zu führen? Wir erinnern an die eingangs nachgezeichnete Geschichte der Kernspaltreaktoren:

In den USA waren bis 1975 rd. 50 Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren bereits in Betrieb, weitere rd.180 waren in Auftrag gegeben, bevor die meisten dieser Aufträge in den folgenden Jahren wieder storniert wurden . So lange hatte es gedauert, bis die tatsächlichen Kosten und damit die Unwirtschaftlichkeit der Leichtwasser-Kernkraftwerke eindeutig zu Tage trat<sup>67</sup>.

Die Liste der ausgeführten Brüterkraftwerke ist zwar vergleichsweise kurz, doch wurden im Verbund Frankreich, Großbritannien und Deutschland zunächst je ein kleines und mittleres Brüterkraftwerk vor dem Großkraftwerk Superphenix realisiert. Wegen der gegenüber Leichtwasserreaktoren sehr hohen Baukosten und der miserablen Betriebserfahrungen trat die Unwirtschaftlichkeit der Brüter schon nach dieser vergleichsweise kurzen, gleichwohl kostspieligen Baureihe zu Tage.

---

<sup>66</sup> Tritium kann z.B. auch Strukturmaterial wie Stahl bei erhöhter Temperatur, wie sie bei Störfällen auftreten kann, durchdringen und über Wasser in den Biokreislauf gelangen. Wie Plutonium ist Tritium nicht nur radiotoxisch, sondern auch Ausgangsmaterial für Atombomben, wirft also Proliferationsprobleme auf.

<sup>67</sup> Auch in Deutschland kostete das letzte, 1982 bestellte Kernkraftwerke real drei mal soviel wie der 1969 bestellte Block Biblis A.



Diese Erkenntnis wird freilich von der französischen Brütergemeinde keineswegs akzeptiert. Tatsächlich kann die Erfahrung gar keinen Beweis für die Unwirtschaftlichkeit eines technischen Konzepts erbringen. Denn die Zukunft läßt sich nicht prognostizieren; wer weiß, was sie dem Brüter noch brächte, würde man fortfahren, immer weiter Brüter zu bauen. Entscheidungen über Abbruch oder Fortführung einer Entwicklung können, wenn es um deren wirtschaftlichen Aussichten geht, grundsätzlich nur anhand von Indizien gefällt werden, nicht mit hieb- und stichfesten Beweisen. Die Indizien sprachen schon beim Abbruch der Brüterentwicklung in den USA, Großbritannien und Deutschland massiv gegen eine wirtschaftliche Zukunft des Brüters; die dann noch folgende Erfahrung mit dem Superphenix reichte selbst bei diesem französischen Prestigeprojekt zur Beendigung.

Der wesentlichste Grund für den Abbruch der Brüterentwicklung waren die hohen Investitionskosten der Brüter. Das Brüterkraftwerk in Kalkar, ausgelegt für 300MW elektrische, entsprechend knapp 1000MW nukleare Leistung, kostete 7 Milliarden DM; keine technische Anlage war je zuvor so teuer. Für das Experiment ITER, das nur kurzzeitig, während 1000 Sekunden, 1500MW nukleare Leistung erreichen soll, daher wesentlich einfacher als ein Fusionskraftwerk ausfällt, sind gut doppelt so hohe Kosten veranschlagt! Erscheint es angesichts solcher Relationen nicht als höchst wahrscheinlich, daß Fusionskraftwerke noch weitaus teurer, ergo unwirtschaftlicher, als Brüterkraftwerke sein müßten? Der Vergleich spricht jedenfalls für die Plausibilität der von den "Dissidenten" geäußerten, massiven Zweifel an der wirtschaftlichen Eignung der Fusion für die Stromerzeugung.

Wir hatten schon bei den Leichtwasserreaktoren festgestellt, daß der gegenüber konventionellen technischen Anlagen ungewöhnlich hohe Grad an Komplexität in Verbindung mit den Risiken der Radioaktivität verantwortlich war für die anfängliche Unterschätzung der Kosten und damit für die jahrelangen, massiven Kostensteigerungen. Bei den Brütern führte die nochmals höhere Komplexität zu nochmals höheren, anfangs ebenfalls massiv unterschätzten Kosten. Dabei erschien der Bau solcher Kernreaktoren anfangs gar nicht als so problematisch, denn erste, kleine Leichtwasser- und Brüterkraftwerke entstanden wenige Jahre nach Beginn der kerntechnischen Forschung.

Dagegen ist nun, nach bald einem halben Jahrhundert Fusionsforschung, noch auf Jahrzehnte hinaus nicht einmal ein erstes Fusionskraftwerk in Sicht. Der Grund dafür ist letztlich die gegenüber Spaltreaktoren nochmals weitaus höheren Komplexität der Fusionstechnologie, die ja ebenfalls mit Problemen von Radioaktivität belastet ist. 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. Eben deswegen dürfte sie, auch wenn sie sich als technisch durchführbar erweisen sollte, wirtschaftlich chancenlos sein. Sie mag für die Beteiligten faszinierend sein, aber sollte die Gemeinschaft der Industrieländer deswegen auch in den kommenden Jahrzehnten für die teuersten aller je zur Entwicklung ziviler Technik geplanten Großexperimente zahlen? Zumal für die physikalische Grundlagenforschung nichts Wesentliches dabei herauskommt.

Aber kann man denn eine Entwicklung aufgeben, die zu einer nie versiegenden Energiequelle führen, das Energieproblem endgültig lösen könnte?

### **Eine kürzere Geschichte**

Die jährlich auf die Erde auftreffende Solarstrahlung entspricht dem 10.000fachen des anthropogenen Weltenergieverbrauchs, im dichtbesiedelten, hoch industrialisierten, nördlichen Deutschland noch dem 100-fachen des dortigen Energieverbrauchs. Sie kann direkt in nutzbare Strom- und Wärmeenergie umgewandelt werden, zudem indirekt als Wind- und Wasserkraft sowie Biomasse energetisch genutzt werden. Das geschieht auch bereits, eine Vielfalt an modernen regenerativen Energietechnologien ist verfügbar. Ginge es nur um nie versiegende Energiequellen, so wäre das Energieproblem mit diesen, heute verfügbaren Technologien für alle Zeiten lösbar, dies ohne Freisetzung von Radioaktivität, von Bombenstoff und klimaschädlichem CO<sub>2</sub>.

Aber es geht eben nicht nur um die Energiequellen, sondern um deren wirtschaftlichen Einsatz, auch um deren gesellschaftliche Akzeptanz.. Fusionskraftwerke könnten wirtschaftlich bestenfalls Strom, dies auch nur in der Grundlast, erzeugen, so einen gewissen Anteil des Energiebedarfs decken<sup>68</sup>. Auch wenn sie in der Stromerzeugung wirtschaftlich eingesetzt werden könnte, wäre die Fusion doch keine universelle Energiequelle, wie das manche Medienberichte suggerieren. Regenerative Technologien können dagegen, infolge ihrer Vielfalt, alle benötigten Energieträger – Strom, Treibstoff, Hoch- und Niedertemperaturwärme – bereitstellen.

Dennoch spielen regenerative Energien, abgesehen von der traditionellen Nutzung von Holz und Wasserkraft, nur in wenigen Ländern schon eine wirtschaftlich erhebliche Rolle. Das liegt nicht allein, aber nicht zuletzt daran, daß sie mit den fossilen Energieträgern, deren Preise real niedriger liegen als je zuvor, beim derzeitigen Stand der technologischen Entwicklung und Fertigung nur in begrenzten Anwendungsbereichen konkurrenzfähig sind. Diverse regenerative Energietechnologien sind zwar einsatzfähig, aber ihr Entwicklungspotential ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Bis Mitte der 70er Jahre hatten alle Industriestaaten, auch etliche Entwicklungsländer, mit enormen öffentlichen Mitteln die Entwicklung der Kernenergie betrieben. Sie war derart mit Erwartungen besetzt, daß regenerative Energien und rationelle Energienutzung gar nicht als energiewirtschaftliche Potentiale wahrgenommen wurden, daher auch keinerlei öffentliche Förderung erfuhren. Die setzte erst Mitte der 70er Jahre ein, als der Widerstand gegen die Kernenergie politisches Gewicht bekam und unterstützt wurde durch Wissenschaftler, die auf diese Alternativen und deren Potentiale hinwiesen – zudem sich auch das öffentliche Interesse infolge der Ölpreiskrise von 1973 der Energiepolitik zuwendete. Aber auch seitdem blieb die staatliche Förderung für Forschung und Entwicklung der regenerativen Energien (*REG*) und

---

<sup>68</sup> Strom deckt derzeit 13% des weltweiten Energiebedarfs. Die anfängliche Atomeuphorie suggerierte, Atomstrom könne den gesamten Energiebedarf decken. Das ist zwar physikalisch denkbar, wirtschaftlich aber unsinnig, weil Strom wegen der aufwendigen Herstellung und Verteilung ein besonders teurer Energieträger ist.

<sup>68</sup>Quellen für diese und alle folgenden Angaben über deutsche F&E-Budgets: Bundesbericht Forschung, verschiedene Jahrgänge; 3. Und 4. Programm Energieforschung und Energietechnologien; für Fusion zusätzlich: Mitteilung des parl. Staatssekretärs beim BMBF an H. Scheer, MdB, vom 23.9.97.

der rationellen Energienutzung (*REN*) recht begrenzt, ein industrielles Engagement entwickelte sich nur sehr zögernd.

Die Förderung von REG und REN begann im Jahr 1975, in dem das zuständige Bundesministerium (BMFT, später BMBF) rd. 1,2 Milliarden DM für nukleare Energieforschung einschließlich Fusion aufwendete<sup>69</sup>. Die jährlichen Ausgaben des BMFT für REG und REN wuchsen stetig, bis sie 1982 knapp 300 Mio DM, damit 10% des gesamten Aufwands für Energieforschung, erreichten; 2,1 Milliarden DM, nahezu  $\frac{3}{4}$  dieses Aufwands, flossen 1982 in die nukleare Energieforschung (incl. Fusion). Nach dem Regierungswechsel von 1982 wurden die Ausgaben für REG und REN stark reduziert bis auf 190 Mio DM im Jahr 1986, dem Jahr der Katastrophe in Tschernobyl. Danach stiegen sie nochmals, erreichten aber (real) nicht wieder das Niveau von 1982.

Im Rahmen der REG/REN-Förderung entfielen die Mittel hauptsächlich auf die regenerativen Technologien (REG). Der staatliche Aufwand zur Förderung der REN-Technologien war minimal im Verhältnis zu deren Bedeutung: seit 1973 hat sich die rationellere Energienutzung zur bedeutendsten "Energiequelle" entwickelt. Sie hat weit mehr fossile Energieträger als die Kernenergie substituiert<sup>70</sup>. Die staatliche Energiepolitik und ihre Berater hatten dieses Potential ignoriert.

Die Entwicklung der regenerativen Energietechnologien (bis auf die traditionelle Wasserkraft) begann praktisch erst nach Einsetzen der staatlichen Förderung 1975, nachdem die Kernenergie schon fast zwei Jahrzehnte lang massiv unterstützt worden war. Auch seitdem bringt der Staat für die Kernenergie noch weit höhere Mittel auf als für die Regenerativen<sup>71</sup>.

Derzeit liegen die Ausgaben des BMBF für REG wie die für Fusionsforschung bei jährlich 200 Mio DM. Insgesamt hat das BMBF seit 1975 ca. 3,7 Milliarden DM sowohl für REG als auch für Fusion ausgegeben<sup>72</sup>. Die deutsche Fusionsforschung erhielt zudem erhebliche EU-Mittel. Die EU hat für Fusion weit mehr als für REG aufgewendet; derzeit liegen die jährlichen EU-Ausgaben für REG bei 200 Mio DM, die für Fusion mehr als doppelt so hoch<sup>73</sup>.

---

<sup>70</sup> So beruhte das 1. Energieprogramm der Bundesregierung von 1973 auf der (von RWI, DWI und EWI erstellten) Prognose, der Primärenergieverbrauch (PEV) der (alten) Bundesrepublik werde von 1973 bis 1985 um 60% zunehmen. Tatsächlich blieb er bei wachsender Wirtschaft nahezu konstant. Diese seither anhaltende "Entkopplung von Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum" war ein eklatanter Trendbruch. Von 1973 bis 1990 (bis zur Vereinigung) wuchs das Bruttoinlandsprodukt (BIP) real um 47%, der PEV nur um 4%. Die Differenz von 43% läßt sich als Energieeinsparung der (technologie- und verhaltensbedingten) rationelleren Energienutzung zuschreiben, weil vor 1973 trendgemäß der PEV proportional zum BIP gewachsen war. Die Kernenergie substituiert demgegenüber nur ca. 10% der fossilen Primärenergieträger. (Dies auch nur unter der fragwürdigen Annahme, daß sich der Stromverbrauch unabhängig von den mit dem Ausbau der Atomenergie einhergehenden Absatzstrategien entwickelt hat.)

<sup>71</sup> Noch derzeit gibt das BMBF jährlich um 500 Mio DM für Kerntechnik (mit Stilllegung von Anlagen, ohne Fusion) aus.

<sup>72</sup> Die Ausgaben der Großforschungszentren für REG und REN wurden vor 1966 nicht getrennt ausgewiesen. Für sie haben wir die Aufteilung geschätzt.

<sup>73</sup> Im laufenden 4. Rahmenprogramm der EU werden REG und REN sowie fossile Energietechnologien mit den Programmen Joule (F&E) und Thermie (Demonstrationsvorhaben) gefördert. Für die vierjährige Laufzeit

Beim Vergleich des Aufwands für REG und Fusion ist zu bedenken, daß die Fusionsmittel ausschließlich für Forschung und Entwicklung (F&E) eingesetzt werden, die REG-Mittel des BMBF und der EU dagegen nur zum Teil für F&E, zum anderen Teil zur Unterstützung der Markteinführung, weil REG-Technologien im Gegensatz zur Fusion nach vergleichsweise kurzer Entwicklungsdauer einsatzbereit, aber noch nicht konkurrenzfähig waren. Insgesamt wurden mithin in Deutschland und Europa weitaus mehr staatliche F&E-Mittel für die Fusion als für die REG-Technologien aufgewendet. Zudem wurden die F&E-Mittel für REG weitgehend auf die Photovoltaik konzentriert. Der staatliche Aufwand für die Entwicklung der vielen Anderen – Solarthermik für Wärme und für Strom, Windkraft, Kleinwasserkraft, viele Formen der Nutzung von Biomasse<sup>74</sup>, Geothermie – blieb recht geringfügig. Wäre der staatliche Einsatz für die Kernenergie derart begrenzt worden, dann gäbe es gewiß keinen Atomstrom. Das Problem der REG ist ein Circulus vitiosus: zu geringe Entwicklungsmittel, daher noch zu hohe Kosten, daher zu geringer Absatz, daher zu geringe Fertigungskapazitäten, daher zu hohe Kosten...

Dennoch können marktnahe REG-Technologien bei entsprechend zielgerichteter Energiepolitik schon bald einen erheblichen Beitrag zur Energieversorgung leisten. So ist in Deutschland infolge des Stromeinspeisegesetzes im Zeitraum 1992 bis 1997 die Windkraftkapazität von 200 MW auf 2000 MW gewachsen, trug damit freilich erst knapp 1% zur Stromerzeugung bei. In Dänemark trägt Windstrom schon 7% zur Stromerzeugung, regenerative Energie (hauptsächlich Abfallbiomasse, keine Wasserkraft) insgesamt 8% zur Deckung des Energiebedarfs bei; offizielle dänische Ziele sind 12% bis 2005 und 35% bis 2035. Der EU-Ministerrat hat soeben, im Mai 1998, dem Vorschlag der EU-Kommission<sup>75</sup> zugestimmt, den Anteil regenerativer Energien in der Gemeinschaft bis 2010 von 6% (noch weitgehend Wasserkraft) auf 12% zu verdoppeln.

Welchen Beitrag könnten heute schon die regenerativen Energien leisten, wären sie schon so lange und so intensiv gefördert worden wie die Kernenergie? Wie sähen die Perspektiven der solaren – photovoltaischen und solarthermischen – Stromerzeugung aus, wäre ihre Entwicklung so lange und mit den gleichen Mitteln gefördert worden wie die Fusionsforschung? Soll man diesen Einsatz noch über Jahrzehnte steigern, um immer gigantischere Fusionsexperimente mit ungewissem Ausgang zu finanzieren, statt sie in die Entwicklung der Regenerativen umzulenken, damit weit kurzfristiger energiewirtschaftliche Wirkung zu erzielen? Und wenn die nächsten Schritte, ITER und DEMO, den erhofften Erfolg erbrächten, wenn sie also die Perspektive für den Bau von Fusionskraftwerken nach 2050 eröffneten, wären dann nicht noch gigantische Subventionen für deren Markteinführung erforderlich, von denen überhaupt noch nicht die Rede ist?

Die Vorstellung, die Fusion könnte dereinst das Energieproblem lösen, ist in vielerlei Hinsicht realitätsfern. Es geht nicht nur darum, daß Fusionsreaktoren, sofern überhaupt technisch

---

1995-98 sind für Joule/Thermie insgesamt 1030 Mio ECU budgetiert, darunter für REG ca. 40% (Limit 44%), entsprechend pro Jahr durchschnittlich gut 100 Mio ECU oder 200 Mio DM. Für Fusion werden im gleichen Zeitraum pro Jahr, wie weiter oben dokumentiert, 224 Mio ECU ausgegeben.

<sup>74</sup> Erzeugung von Gasen, Treibstoff, flüssigen und festen Brennstoffen aus Abfällen wie Gülle, Holz, Stroh und aus Pflanzenanbau, dazu passende Feuerungen etc.

<sup>75</sup> siehe EU- Weißbuch "Energie für die Zukunft" vom Dezember 1987.

machbar, für einen wirtschaftlichen Betrieb zu teuer und zu störanfällig wären. Sie würden auch die Produktion von Radioaktivität und von Atomwaffenmaterial perpetuieren. Sie müßten zudem als riesige Einheiten mit tausenden von Megawatt elektrischer Leistung ausgeführt werden, setzten daher eine höchst zentralisiertes, verletzliches Energiesystem und eine auf wenige Länder konzentrierte Herstellerindustrie voraus. Die Vorstellung, eine derart gigantische, zentralistische Technologie könne *die* universelle Energiequelle werden, ist schlicht antiquiert.

Moderne, zukunftssträchtige Technologien sind flexibel gestaltbar, an Bedarfsstrukturen angepaßt, dezentral einsetzbar. Das leistet die Summe der vielfältigen regenerativen Energietechnologien, die mittel- oder unmittelbare Nutzung der überreichlich einstrahlenden Sonnenenergie. Das *technisch* unbegrenzte Potential aktiver und passiver Nutzung der Solarstrahlung, von Wind- und Wasserkraft, Biomasse und Erdwärme ist *wirtschaftlich* erschließbar durch intelligente Zuordnung einer Vielfalt von Versorgungstechnologien, in Verbindung mit rationellen Nutzungstechnologien, zum vielfältigen Bedarf an Energiedienstleistungen. Es geht um eine komplexe, weitgehend dezentrale Umstrukturierung des Systems von Energienutzung und -versorgung, nicht um die eine neue, universelle Energietechnologie.

Die Kernfusion ist als Wasserstoffbombe eine furchterregende Realität. Als Energiequelle ist sie ein Trugbild. Geboren und verwurzelt in einer Zeit unreflektierter Fortschrittsgläubigkeit, hat sie ihre – imaginäre – Zukunft hinter sich. Es ist an der Zeit, sie ad acta zu legen, den Aufwand an Geist und Geld, den sie bindet, umzulenken in eine konzentrierte Anstrengung zur Fortentwicklung und Verbreitung der real bereits existierenden, einsatzbereiten regenerativen und rationellen Energietechnologien.

Die Vorstellung, die Energieprobleme mittels einer gigantischen, universell einsetzbaren Technologie lösen zu können, ist realitätsfern, antiquiert. Dagegen ist die Zuordnung diverser, flexibler Technologien zu unterschiedlichen Anforderungen generell zukunftssträchtig. Gerade das können regenerative Energietechnologien und rationelle Nutzungstechnologien leisten. Die wirtschaftliche Erschließung des Potentials aktiver und passiver Nutzung der Solarstrahlung, von Wind- und Wasserkraft, Biomasse und Erdwärme verlangt die intelligente Zuordnung einer Vielfalt von Versorgungstechnologien, in Verbindung mit rationellen Nutzungstechnologien, zum jeweiligen Energiebedarf. Es geht um eine komplexe Umstrukturierung des Systems von Energienutzung und -versorgung, nicht um den einen großen Wurf.