Zur Selbstreproduktionszeit fortgeschrittener Energiesysteme

A.F. Knobloch

IPP 4/192 Oktober 1979

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

8046 GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

Zur Selbstreproduktionszeit fortgeschrittener Energiesysteme

A.F. Knobloch

IPP 4/192 Oktober 1979

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

IPP 4/192

Zur Selbstreproduktionszeit fortgeschrittener Energiesysteme

A.F. Knobloch

Oktober 1979

Zusammenfassung

Ausgehend von stark vereinfachten Annahmen wird gezeigt, daß fortgeschrittene Energiesysteme - zu denen auch ein Fusionsreaktor zu rechnen wäre - mit gegenüber heute üblichen Werten verlängerter Selbstreproduktionszeit energiewirtschaftlich interessant werden in dem Maße, in dem der Anstieg des Energiebedarfs sich verlangsamt. Bei den gegenwärtig noch üblichen Anstiegsraten würden fortgeschrittene Systeme für ihre Erneuerung und Erweiterung eine unvertretbar hohe zusätzliche Leistungsbereitstellung über die Anforderungen der Verbraucher hinaus erfordern. Eine weitere wesentliche Möglichkeit zur Herabsetzung dieser zusätzlichen Leistungsbereitstellung liegt in einer Verlängerung der Lebensdauer bei fortgeschrittenen Energiesystemen.

Abstract

Using very simple assumptions it is shown that advanced energy systems - including a possible fusion reactor - involving prolonged self reproduction times compared to present systems can become more interesting as the rate of increase in energy demand is slowing down. With the present rates of increase advanced systems would require unreasonably large additional amounts of installed power for renewal and enlargement surpassing the demand from the consumers. Another important possibility of diminishing this additional installed power can come from increasing the lifetime of advanced energy systems.

Einleitung

In der Gegenwart besteht eine beträchtliche Unsicherheit über die Zukunft der Energieversorgung aus einer großen Fülle von Gründen wie z.B. Unklarheit über die Bedarfsentwicklung, absehbare Grenzen heutiger Primärenergiequellen, Implikationen des Energiepreises, politische Unwägbarkeiten usw. sowie die vielfältige gegenseitige Abhängigkeit der Einzelaspekte. Auch bei der Beurteilung neuartiger Energiesysteme wie z.B. des Fusionsreaktors bestehen diese Unsicherheiten entsprechend; trotzdem müssen sie entwickelt werden, und dies muß unter Berücksichtigung wenigstens der bereits absehbaren Zukunftsaspekte geschehen.

Ein wichtiger Einzelaspekt zur Beurteilung von Energiesystemen ist die Selbstreproduktionszeit[1], d.h. diejenige Zeitspanne, in welcher etwa ein Kraftwerk diejenige Energie liefert, welche ursprünglich zu seiner eigenen Herstellung benötigt wurde. Offensichtlich ist unter diesem Gesichtspunkt ein Energiesystem dann besonders günstig zu beurteilen, wenn seine Selbstreproduktionszeit möglichst kurz ist. Dann nämlich verursacht die Aufrechterhaltung und der Ausbau einer mit diesem System arbeitenden Energiewirtschaft einen geringen Eigenenergieaufwand.

Die Selbstreproduktionszeit hängt von der je Leistungseinheit benötigten Material- und Arbeitsmenge ab, wobei grob gesprochen die Materialmenge wesentlich mit der erreichten Leistungsdichte im System, die Arbeitsmenge wesentlich mit seiner Komplexität zusammenhängt. Eine genauere Bestimmung der Selbstreproduktionszeit für ein bestimmtes Energiesystem erfordert u.a. die Berücksichtigung der Größe der Einzeleinheiten (Leistung je Kraftwerk), eine Aufschlüsselung des Energiebedarfs für die Herstellung, eine Abgrenzung Energieverbraucher/Energielieferant, also im Grunde die Einbeziehung der gesamten Energiewirtschaft, innerhalb deren das betrachtete Energiesystem beurteilt wird. Derartige Untersuchungen sind für vorhandene Energiesysteme durchgeführt worden und haben Werte von etwa 2a geliefert. Das bedeutet, daß ein heute in Betrieb gehendes Kraftwerk zunächst einmal 2 Jahre mit Vollast arbeiten muß, um den zu seiner eigenen Herstellung bereits notwendig gewesenen Energieaufwand zurückzuerstatten. Natürlich bedeutet das, daß schon während seiner Herstellungszeit die entsprechende

---

[1] P.F. Chapman in Energy Policy Dec. 1975, S. 285

Kraftwerksleistung über den Bedarf der "eigentlichen" Energieverbraucher hinaus vorhanden gewesen sein muß. Berücksichtigt man ferner, daß während dieser zwei Jahre in einer expandierenden Wirtschaft der Verbraucherbedarf schon wieder weiter angestiegen ist, daß Energiesysteme eine begrenzte Lebensdauer haben, also in regelmäßigen Abständen ersetzt werden müssen, und daß zu ihrer Herstellung langjährige Zeiträume erforderlich sind, so erhebt sich die Frage, wie die Selbstreproduktionszeit mit vernünftigen Werten der installierten Überschußleistung nur für die Produktion von Energiesystemen, des Energiebedarfsanstiegs und der Lebensdauer für Energiesysteme zusammenhängt. Diese Frage ergibt sich vor allem auch deswegen, weil bei fortgeschrittenen Energiesystemen wie z.B. beim Fusionsreaktor eine deutliche Tendenz zu geringerer Leistungsdichte und höherer Komplexität zu beobachten ist, d.h. fortgeschrittene Energiesysteme noch längere Selbstreproduktionszeiten als die heutigen Systeme ansteuern werden.

Die nachstehenden Abschätzungen stellen eine grob vereinfachte Darstellung für ein einheitliches Energiesystem dar.

Selbstreproduktionszeit

P(t) sei die gemäß dem zeitlich veränderlichen Gesamtbedarf vorhandene installierte Leistung des betrachteten Gebietes, wobei der Gesamtbedarf sich ergibt aus dem Verbraucherbedarf $P_c(t)$, der Leistung $P_r(t)$ für den Ersatz der bestehenden Energiesysteme nach Ablauf ihrer Lebensdauer τ_L sowie der Leistung $P_i(t)$ für die bedarfsgemäße Steigerung der installierten Leistung unter Berücksichtigung der erforderlichen Herstellungszeit τ_f. Fig. 1 veranschaulicht die vereinfachten Zusammenhänge zur Ermittlung der Selbstreproduktionszeit τ_s in ihrem Zusammenhang mit den anderen Größen.

Für ein einzelnes Energiesystem der Leistung P_s beträgt die während seiner Herstellungszeit über diese Zeit gemittelte Leistung zu seiner Fertigung

$$\frac{\tau_s}{\tau_f} \cdot P_s .$$

Da nun aber die Lebensdauer des einzelnen Energiesystems wesentlich länger als die Zeit zu seiner Herstellung ist, und da die Zusammenhänge für ein umfangreiches Gebiet mit zahlreichen Energiesystemen der betrachteten Art gelten sollen, mitteln sich die "Leistungsspitzen" für die Fertigung der einzelnen Energiesysteme aus, und es gilt für ein Gebiet mit

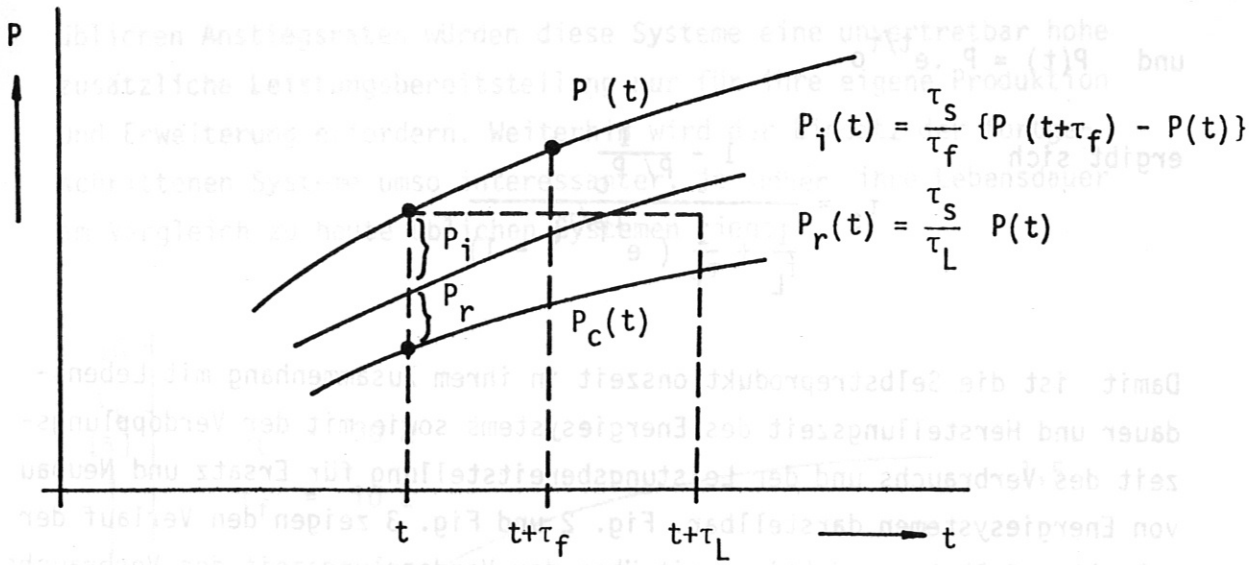

Fig. 1

zeitlich konstantem Verbraucherbedarf, wo also nur der lebensdauerbedingte Ersatz von bestehenden Energiesystemen vorgenommen wird,

$$P_r = \frac{\tau_s}{\tau_L} P.$$

Für die durch den Anstieg des Verbraucherbedarfes (Herstellung zusätzlicher Energiesysteme) bedingte installierte Leistung $P_i(t)$ gilt gemäß Fig. 1 in vereinfachter Betrachtung, daß diese Leistung vorausschauend für den Gesamtleistungszuwachs im Abstand der Herstellungszeit τ_f bereits vorhanden sein muß. Allgemein ergibt sich folgende Beziehung

$$P(t) = P_c(t) + P_r(t) + P_i(t)$$

$$= P_c(t) + \frac{\tau_s}{\tau_L} P(t) + \frac{\tau_s}{\tau_f} \{P(t+\tau_f)-P(t)\}$$

Die Gleichung ist besonders einfach aufzulösen, wenn eine exponentielle Zeitabhängigkeit des Verbraucherbedarfes vorausgesetzt wird, wie das heute noch üblich ist.

Mit

$$P_c(t) = P_c \cdot e^{t/\tau_o}, \quad \text{wobei } \tau_o = \frac{\tau_d}{\ln 2} \quad (\tau_d = \text{Verdopplungszeit des Verbraucherbedarfs})$$

und $P(t) = P \cdot e^{t/\tau_o}$

ergibt sich

$$\tau_s = \frac{1 - \frac{1}{P/P_c}}{\frac{1}{\tau_L} + \frac{1}{\tau_f}\left(e^{\tau_f/\tau_o} - 1\right)} .$$

Damit ist die Selbstreproduktionszeit in ihrem Zusammenhang mit Lebensdauer und Herstellungszeit des Energiesystems sowie mit der Verdopplungszeit des Verbrauchs und der Leistungsbereitstellung für Ersatz und Neubau von Energiesystemen darstellbar. Fig. 2 und Fig. 3 zeigen den Verlauf der erlaubten Selbstreproduktionszeit über der Verdopplungszeit des Verbrauchs mit der auf den jeweiligen Verbraucherbedarf bezogenen Gesamt-Leistungsbereitstellung als Parameter. Fig. 2 ist für heute übliche Werte von Lebensdauer und Herstellungszeit gezeichnet. Der Bereich gegenwärtig erreichter Selbstreproduktionszeiten und Verdopplungszeiten des Bedarfs ist schraffiert gekennzeichnet. (Man kann leicht zeigen, daß innerhalb sinnvoller Grenzen die Herstellungszeit keinen entscheidenden Einfluß auf den Kurvenverlauf im zukunftsrelevanten Teil hat.) Eine Aussage der Fig. 2 ist, daß bei einer bezogenen Leistungsbereitstellung von 1,2 eine Verlängerung der Selbstreproduktionszeit fortgeschrittener Energiesysteme gegenüber heute 2a bis auf ca. 4a möglich ist, vorausgesetzt, daß eine wesentliche Verlangsamung des Bedarfsanstieges eintritt. Fortgeschrittene Energiesysteme mit verlängerter Selbstreproduktionszeit sind also verträglich mit verlangsamtem Wachstum, wobei allerdings verhältnismäßig enge Grenzen für Materialaufwand und Komplexität gesetzt sind, wenn man die bezogene Leistungsbereitstellung nicht unvernünftig anwachsen lassen will. Fig. 3 zeigt noch eine weitere einleuchtende Verbesserungsmöglichkeit, nämlich die Verlängerung der Lebensdauer der Energiesysteme. Eine Verlängerung auf das Doppelte reduziert bei Selbstreproduktionszeiten bis zu 4a die bezogene Leistungsbereitstellung auf 1,1; andererseits könnten für $P/P_c = 1{,}2$ auch noch Selbstreproduktionszeiten bis zu 7a toleriert werden.

Zusammenfassung

Ausgehend von stark vereinfachten Annahmen wird gezeigt, daß fortgeschrittene Energiesysteme mit gegenüber heute üblichen Werten verlängerter Selbstreproduktionszeit energiewirtschaftlich interessant werden in dem Maße, in dem sich der Energiebedarfsanstieg verlangsamt. Bei den jetzt noch

üblichen Anstiegsraten würden diese Systeme eine unvertretbar hohe zusätzliche Leistungsbereitstellung nur für ihre eigene Produktion und Erweiterung erfordern. Weiterhin wird der Einsatz der fortgeschrittenen Systeme umso interessanter, je höher ihre Lebensdauer im Vergleich zu heute üblichen Systemen liegt.

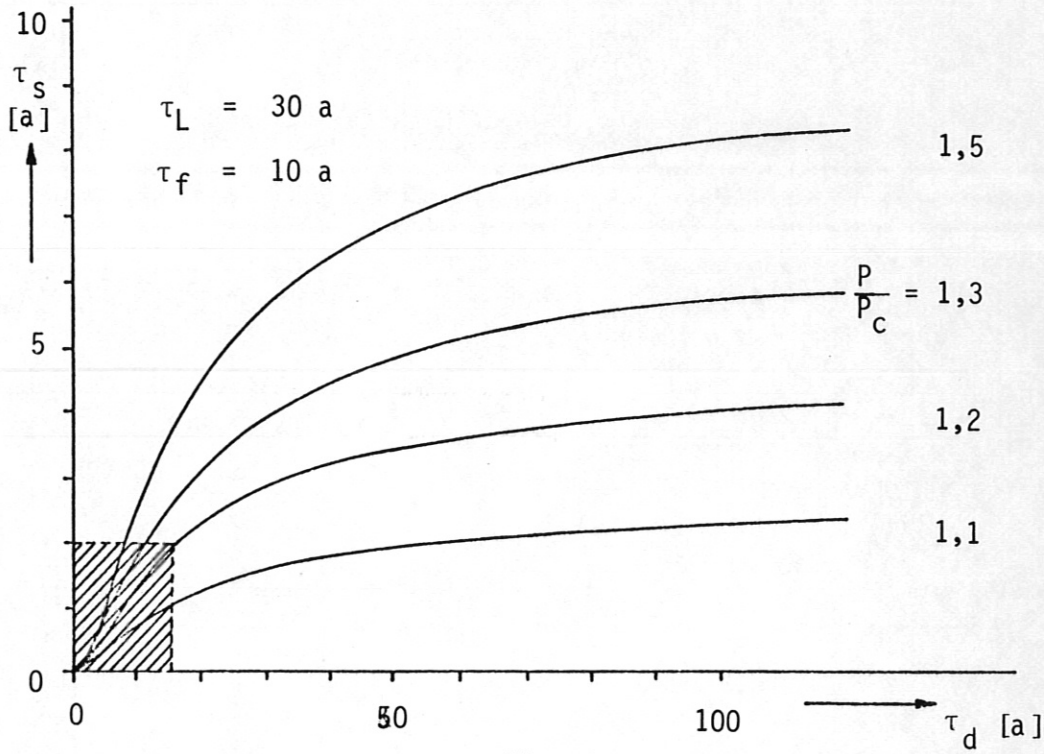

Fig. 2

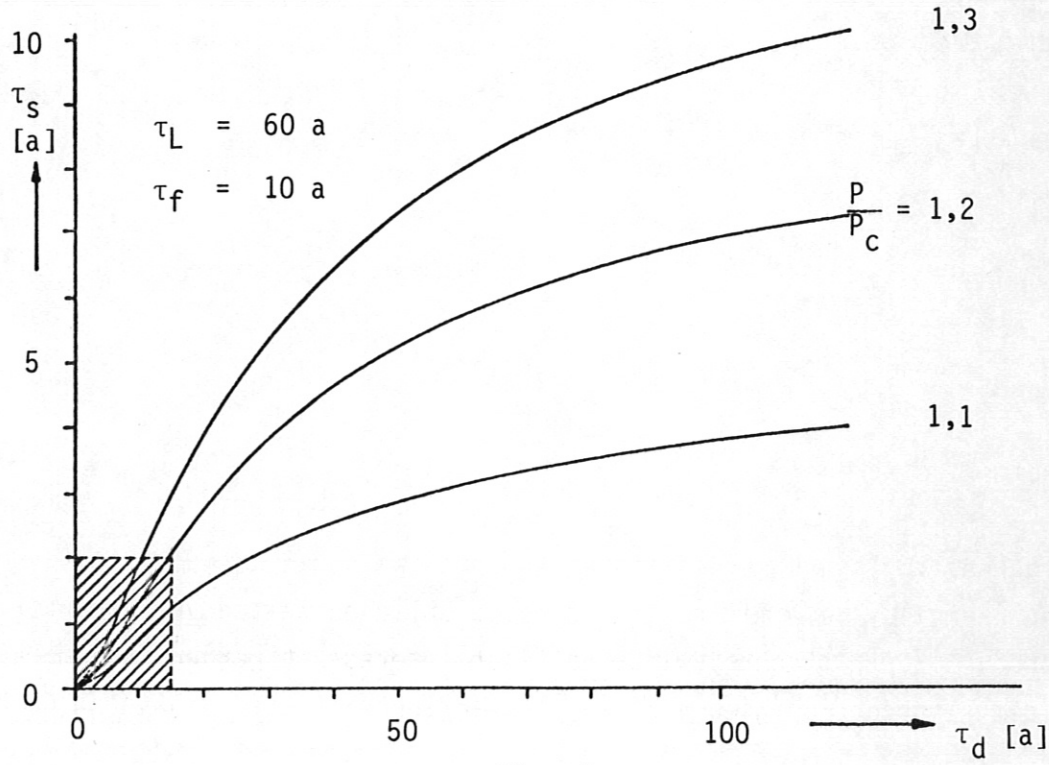

Fig. 3