

## Braucht Europa Atomkraft?

3

Im Energiemix, den die Bundesregierung in ihrem Energiekonzept vorsieht, sollen in Zukunft die erneuerbaren Energien den Hauptanteil übernehmen. Wie muss eine langfristige Strategie für die zukünftige Energieversorgung aussehen, und welche Rolle spielt dabei die Atomkraft?

### Verzicht auf Kernenergie, ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar?

Kernkraftwerke tragen in Europa – den 27 Staaten der Europäischen Gemeinschaft – zu rund 27% zur Stromversorgung bei. In Deutschland liegt ihr Beitrag bei 23%, in Frankreich bei 77%. Wollte man die Kernenergie durch Strom aus Windkraftwerken und Solaranlagen ersetzen, so würde man kein Gramm Kohlendioxidemission einsparen, sondern lediglich den preiswerten Atomstrom durch teuren Strom aus Wind- und Solaranlagen ersetzen.

Die deutschen Stromverbraucher leisteten im Jahre 2009 aufgrund des Energie-Einspeise-Gesetzes (EEG) 9,7 Mrd. € Abgaben für 71,7 TWh Strom aus so genannten erneuerbaren Energien. Zieht man von diesen 9,7 Mrd. € den an der Strombörse zu erzielenden Erlös ab, so verbleiben 6,1 Mrd. € Subventionen allein im Jahr 2009. Besonders teuer ist Strom aus Photovoltaikanlagen. So verschlingen im Jahr 2010 allein die im Vorjahr (2009) neu installierten Anlagen Subventionen in Höhe von 840 Mill. €, wobei sie gerade mal 0,5% zur Stromerzeugung in der Bundesrepublik beitragen.

### Auch ökologischer Ersatz für die Kernenergie spart kein CO<sub>2</sub>, ist aber teuer

Woher kommt die Notwendigkeit der Subventionierung, obwohl die Energieträger Wind und Sonnenstrahlung kostenlos zur Verfügung stehen? Kernkraftwerke werden bedarfsgerecht betrieben, d.h. sie liefern Strom in der Menge, wie sie der Markt in jedem Augenblick braucht. Dies gilt auch für Kohle- und Wasserkraftwerke. Wind und Solarkraft-

werke haben naturbedingte Betriebszeiten und Leistungsabgaben, die vom Wetter – Verfügbarkeit von Wind und Sonne – abhängen. Zum Vergleich der Betriebszeiten wird in der Regel von so genannten Volllaststunden ausgegangen. Sie errechnen sich einfach dadurch, dass man die tatsächlich pro Jahr erzeugte elektrische Energie durch die Ausleistung der Anlage dividiert. Kernkraftwerke weisen rund 7 500 Volllaststunden pro Jahr auf, während Windkraftwerke an Land, je nach Standort, 1 500 bis 1 700 Volllaststunden und Solaranlagen 850 bis 950 Volllaststunden erbringen. Damit wirken sich die Amortisationskosten gewaltig auf die Gestehungskosten des Stroms aus.

Bestehende Kernkraftwerke liefern Strom für 3 bis 4 €cent/kWh. Windstrom ist mit 6 bis 9 €cent/kWh (je nach Lage und Größe der Anlage) verglichen mit Solarstrom noch »preiswert«. Die ursprüngliche Hoffnung auf billigeren Offshore-Windstrom hat sich zerschlagen. Die Bundesregierung hat Eignern von Offshore-Windanlagen, die vor Ende 2015 in Betrieb gehen, eine Vergütung von 15 €cent/kWh für zwölf Jahre zugesagt. Bei alten Photovoltaikanlagen garantiert das EEG über eine Laufzeit von 20 Jahren noch eine Vergütung von 53 €cent/kWh. Durch Beschlüsse der Bundesregierung wurden die Vergütungen je nach Baujahr und Größe der Anlage inzwischen auf unter 40 €cent/kWh gesenkt.

Der Ersatz von Atomstrom durch Strom aus erneuerbaren Energien käme der Wirtschaft und auch dem privaten Stromverbraucher teuer zu stehen. Verschiedene europäische Staaten könnten sich das nicht leisten.



Franz Mayinger\*

\* Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Franz Mayinger lehrt am Lehrstuhl für Thermodynamik der Technischen Universität München.

### Wind- und Solarenergie als Ersatz für Kernenergie sind naturbedingt unzuverlässig

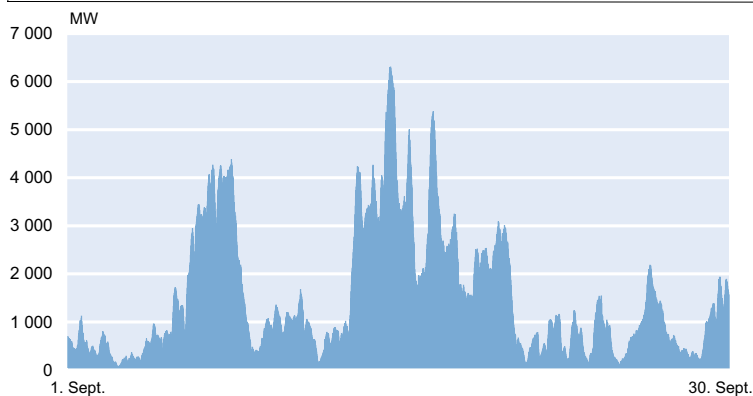
Nicht nur unsere Industrie, sondern auch unser tägliches Leben ist in höchstem Maße von einer zuverlässigen und jederzeit verfügbaren Stromversorgung abhängig. Eine wichtige Rolle bei der Versorgungssicherheit spielt die Stabilität der elektrischen Netze. Unsere modernen elektronischen Geräte reagieren auf Schwankungen von Spannung und Frequenz, wie sie durch Unter- oder Überangebot an Strom entstehen können, sehr empfindlich. Zeitweiser Stromausfall würde nicht nur die Produktion erheblich stören, sondern auch das tägliche Leben empfindlich beeinflussen. Das unsteife Angebot von Wind- und Solarstrom kann heute noch durch Laständerungen bei Kern- und Kohlekraftwerken sowie durch Zu- und Abschalten von Gaskraftwerken ausgeglichen werden. Kernkraftwerke, besonders solche mit Siedewasserreaktoren erfüllen diese Aufgabe sehr elegant und CO<sub>2</sub>-frei.

Im Jahre 2009 trugen in Deutschland Wind mit 7% und Sonne mit 1% zur Stromerzeugung bei. Anders wäre die Situation, wollte man in Europa den Anteil der Kernenergie – also in den 27 Staaten 27% und in Deutschland 23% der Stromerzeugung – durch regenerative Energien ersetzen. Mangels Speichermöglichkeiten für große Mengen Strom müssten dann Kohlekraftwerke und Gaskraftwerke die Schwankungen ausgleichen, was ökologisch widersinnig wäre, abgesehen davon, dass das Leistungsvermögen der bestehenden Anlagen weit überfordert wäre. Es müssten Zubauten erfolgen.

Die Schwankungen der Stromerzeugung aus Windkraftwerken und Solaranlagen weisen keineswegs so kurze Perioden und so geringe Amplituden auf, wie man geneigt ist zu glauben. Ein Beispiel möge dies illustrieren. In den Abbildungen 1 und 2 sind die Schwankungen des Wind- und des Solarstroms im September 2010 aufgetragen, die im Hochspannungsnetz von TENNET-Transpower gemessen wurden. Dieses Netz erstreckt sich in einem breiten Band von Nord nach Süd und umfasst die gesamte Stromerzeugung in den Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Hessen und Bayern.

Beim Wind waren im Monat September Flauten bis herab zu einem Sechstel der Nennleistung zu beobachten, die über meh-

Abb. 1  
Stromerzeugung aus Windkraftanlagen im Hochspannungsnetz von TENNET-Transpower im September 2010

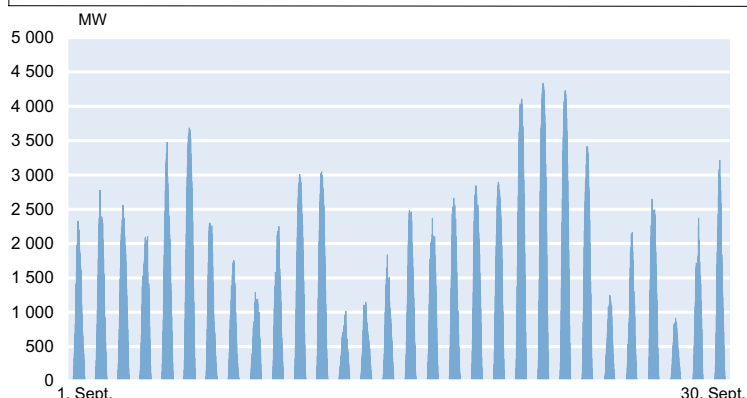


Quelle: Transpower Stromübertragungs GmbH, <http://www.transpower.de> (aufgerufen am 30.09.2010).

rere Tage andauerten, und auch beim Solarstrom sieht die Situation nicht besser aus. Dort kommt hinzu, dass der Verlauf dem Tag-Nacht-Zyklus der Sonneneinstrahlung folgt, nachts also kein Strom erzeugt wird und auch tagsüber die Stromerzeugung mit sinkendem Sonnenstand abnimmt. Die anderen Monate des Jahres vermitteln ein ähnliches Bild.

Aus ökologischer Sicht gibt es zwei Möglichkeiten für die Überbrückung dieser Versorgungslücken, die Errichtung eines europaweiten Starkstromnetzes – vom Ural bis Großbritannien und von Spitzbergen bis Nordafrika – oder den Bau von Pumpspeicherwerken und Druckluftspeichern. Beim Netzausbau besteht der fromme Wunsch, dass ganz Europa sich für die Versorgung Deutschlands mit Strom engagiert. Für einen Kernenergieersatz in ganz Europa wäre dieser Netzausbau utopisch, ganz abgesehen davon, dass er nicht finanzierbar wäre.

Abb. 2  
Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen im Hochspannungsnetz von TENNET-Transpower im September 2010



Quelle: Transpower Stromübertragungs GmbH, <http://www.transpower.de> (aufgerufen am 30.09.2010).

Bleibt also die Speicherung? Eine Speichermöglichkeit für elektrischen Strom in großen Mengen existiert, wie gesagt, nicht, und es besteht wenig Hoffnung, dass eine solche Möglichkeit in naher Zukunft verfügbar sein könnte. Es bietet sich die Speicherung in Form von potentieller Energie an, dadurch, dass paarweise große Seen in unterschiedlicher Höhe angelegt werden, zwischen denen Wasser bei Stromüberschuss nach oben gepumpt wird und bei Strommangel über Turbinen wieder nach unten läuft, wobei Strom erzeugt wird. Solche großen Pumpspeicherkraftwerke wären nicht nur ein gewaltiger Eingriff in die Natur, sondern erforderten auch riesige Investitionen. Bei Druckluftspeicherung wird bei Stromüberschuss Luft komprimiert und in riesige unterirdische Kavernen gedrückt, die dann bei Strombedarf über eine Turbine wieder entspannt wird. Dieses Verfahren beinhaltet erhebliche Energieverluste, da sich die Luft bei der Kompression erwärmt und dann im Lauf der Zeit in der Kaverne abgekühlt wird, wodurch sie an Druck und damit an Energie verliert. Schließlich kann man noch an eine Speicherung in chemischer Form denken. Dabei wird bei Stromüberschuss ein brennbares Gas z.B. mittels Elektrolyse Wasserstoff erzeugt, das bei Strombedarf wieder verbrannt wird und in Gasturbinenanlagen Strom erzeugt. Dabei können nur ~ 25% der ursprünglich zur Erzeugung des Wasserstoffes aufgebrauchten elektrischen Energie wieder in Strom umgewandelt werden. Alle diese Maßnahmen würden den Strom zusätzlich erheblich verteuern.

### Europa ist bereits auf dem Weg zum Ausbau der Kernenergie

Weltweit sind 58 neue Kernkraftwerke im Bau und 144 in Planung. Spitzenreiter ist dabei die aufstrebende Wirtschaftsmacht China mit 21 Kernkraftwerken im Bau und 35 in Planung. Auch in Europa besinnt man sich wieder auf die Kernenergie. Eklatantes Beispiel dafür ist Schweden, das nach dem Unfall 1979 in TMI den Neubau von Kernkraftwerken im Jahre 1980 verboten und 1997 ein Ausstiegsgesetz erlassen hatte. Im Juni 2010 hat der Reichstag in Stockholm nun den Ausstiegsbeschluss rückgängig gemacht und sogar das Bauverbot aufgehoben. Nach diesem neuen Beschluss darf es nach einer altersbedingten Stilllegung eines der zehn schwedischen Reaktoren, die derzeit rund 40% des schwedischen Strombedarfs decken, Neubauten geben. Das finnische Parlament genehmigte ebenfalls im Juni dieses Jahres den Neubau von zwei neuen Reaktoren, die nun in Planung sind.

In Europa befinden sich zurzeit vier neue Kernkraftwerke im Bau, davon zwei in Bulgarien, eines in Finnland, eines in Frankreich und zwei in der Slowakei. In Planung befindet sich in Europa zusätzlich eine größere Zahl neuer Kernkraftwerke, davon in Bulgarien zwei, in Finnland zwei, in Frankreich eines, in Großbritannien vier (sechs weitere sind dort

im Gespräch) und in Rumänien zwei. Selbst in Italien, das früh einen Ausstiegsbeschluss fasste und umsetzte, denkt man über neue Kernkraftwerke nach, und auch in Polen bestehen Planungen für neue Kernkraftwerke. In der Schweiz, die mit 60% Strom aus Wasserkraft und 40% aus Kernenergie eine exzellente CO<sub>2</sub>-Bilanz aufweisen kann, signalisierte die Bundesregierung bereits Zustimmung zum Bau neuer großer Kernkraftwerke als Ersatz für alte. Hierzu ist allerdings noch eine Volksabstimmung nötig.

Politisch bedingte Laufzeitbegrenzungen für existierende Kernkraftwerke gibt es nur in Deutschland. In allen anderen Ländern ist die Laufzeit nur von technischen Faktoren d.h. vom altersbedingten Zustand der Anlage abhängig. Dies führt zu Betriebszeiten je nach Land und Anlage von 40 bis 60 Jahren.

### Europa braucht Atomkraft

Europa steht in hartem Wettbewerb mit der aufstrebenden Wirtschaft in Asien und zukünftig in zunehmendem Maße auch in Südamerika. Moderne effiziente Produktionsprozesse haben in den vergangenen Jahren zu erheblicher Einsparung von Primärenergie geführt, sind aber dafür stromintensiver geworden. Aber nicht nur unsere Wirtschaft, sondern auch unser tägliches Leben ist in höchstem Maß auf eine zuverlässige und auf Dauer bezahlbare Stromversorgung angewiesen. Die eventuell aufkommende Elektromobilität wird diese Abhängigkeit noch verstärken.

Wirtschaftliche Zwänge, aber auch ein angemessener Wohlstand seiner Bevölkerung erfordern für Europa den Erhalt, ja den weiteren Ausbau der Kernenergie, besonders dann, wenn man den Klimawandel ernst nimmt und die CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindern muss.



Thomas Hamacher\*

## Braucht Europa Kernkraft?

### Einleitung und These

Die Frage, ob man eine bestimmte Technologie braucht, impliziert einen technologischen Determinismus, der nur in schlechten Argumenten, aber nicht in der Realität besteht. Die Frage soll deswegen in drei etwas abgewandelte Unterfragen beantwortet werden: 1) Welche Rolle spielt die Kernenergie heute und 2) welche im Jahr 2020? 3) Welche Forschungsanstrengungen müssen heute unternommen werden, damit in 40–50 Jahren eine nachhaltige Kernkraft bereitsteht?

Die Möglichkeiten bei der Stromerzeugung sind sehr beschränkt. Es darf nicht damit gerechnet werden, dass irgendwelche heute noch nicht bekannten Mechanismen in Zukunft die Stromversorgung leisten werden. Deswegen kann eine vorschnelle Beschränkung auf wenige Optionen zu Engpässen und Problemen in der Zukunft führen, da insbesondere die Entwicklung der Technologien sehr aufwendig und langwierig ist. Die These dieses Artikels lautet deswegen: Durch weitere intensive Forschung soll versucht werden, die Kernenergie so weiterzuentwickeln, dass sie mit strengen Kriterien der Nachhaltigkeit vereinbar ist.

### Heutige Bedeutung der Kernkraft

Kernkraft stellt mit einer installierten Leistung von 133 GW und einer Erzeugung von 935 TWh/a im Jahr 2007 etwa 28% der Stromerzeugung in der EU-27 bereit (vgl. Eu-

ropäische Union 2010). In zwei Mitgliedsländern, nämlich Finnland und Frankreich, werden neue Kernkraftwerke gebaut. In anderen Ländern, wie Großbritannien und einigen osteuropäischen Staaten, wird über den Bau neuer Kraftwerke nachgedacht. Andere Länder diskutieren die Laufzeitverlängerung der bestehenden Kraftwerke. Einige Länder stehen der Nutzung der Kernkraft sehr kritisch gegenüber, wie z.B. Österreich. In Fragen der Kernkraft geht ein tiefer Spalt durch Europa.

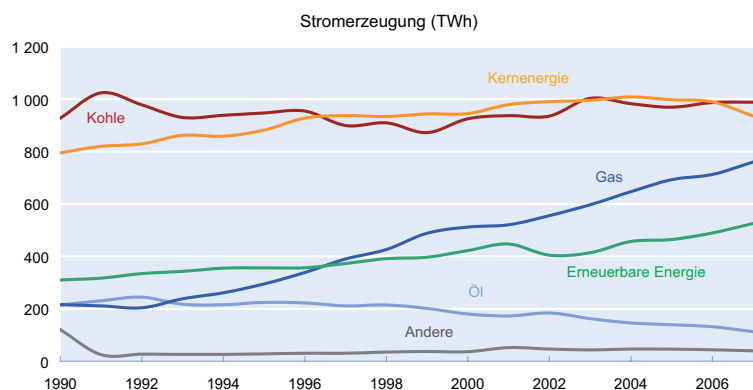
Im Zeitraum von 1990 bis 2007 ist, bezogen auf das Jahr 2007, die Stromerzeugung in der EU-27 um 23% gestiegen, also um etwas mehr als 1% pro Jahr. Dabei dominieren Kohle und Kernkraft die Erzeugungsstruktur. Gas hat aber stetig an Bedeutung gewonnen und seinen Anteil von 8 auf 22% steigern können. Weniger stark, aber trotzdem stetig hat auch die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien von 12 auf 16% zugenommen.

### Kernkraft und Klimaschutz

Kernkraft emittiert im Betrieb kein CO<sub>2</sub>. Die Emissionen beim Bau und Abbau der Anlagen sowie in den vorgelagerten Prozessen hängen jeweils von der Struktur der Energiewirtschaft des Landes ab. In Frankreich wird der Strom zur Urananreicherung auch in Kernkraftwerken erzeugt, somit entstehen dabei auch keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dabei gibt es eine Reihe von Untersuchungen, die durch eine Prozesskettenanalyse die Emissionen der Kernkraft zu bestimmen versuchen. Die Werte liegen für Deutschland zwischen 6–12 g/kWh(El) (vgl. Wissel et al. 2007)) und damit deutlich unter den Werten von fossilen Kraftwerken.

Ein weiterer Beleg für die niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Kernkraft wird durch einen Vergleich der französischen mit den deutschen Treibhausgasemissionen gegeben. In

Abb. 1  
Stromerzeugung in der EU-27



Quelle: Europäische Union (2010).

\* Prof. Dr. rer. nat. Thomas Hamacher leitet den Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der Technischen Universität München.

Deutschland wurden im Jahr 2007 10,6 t CO<sub>2</sub>/a/cap emittiert, während in Frankreich der Wert bei 6,6 t CO<sub>2</sub>/a/cap lag (vgl. Europäische Union 2010), also um 30% niedriger. In Frankreich lag 2007 die Stromerzeugung aus Kernkraft bei 77% und in Deutschland unter 30%.

### *Kernkraft und Versorgungssicherheit*

Der Ausbau der Kernkraft war in der Vergangenheit – nicht zuletzt in Frankreich – durch den Wunsch nach Unabhängigkeit und eine erhöhte Versorgungssicherheit geprägt. In Osteuropa hört man heute oft Sätze der Art: »Russisches Gas ist gefährlicher als Kernkraft«. Auch wenn der Brennstoff Uran zumeist importiert wird, kann auf Vorrat gekauft und lange gelagert werden.

### **Kernkraft und die Ziele der EU für das Jahr 2020**

Die EU möchte die CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf das Referenzjahr 2005, bis 2020 um 20% reduzieren. In den letzten 15 Jahren ist die Stromnachfrage in Europa bis auf kurzzeitige Einbrüche bei der Finanzkrise stetig gestiegen. Für die nächsten Jahre ist ein weiteres Wachstum wahrscheinlich. Die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei steigender Stromnachfrage könnte also nur – wenn auf die Kernkraft verzichtet werden sollte – durch ein überproportionales Wachstum Erneuerbarer Energien oder eine massive Umstellung von Kohle auf Gaskraftwerke realisiert werden. Mit dem geplanten Ausbau der Erneuerbaren Energien auf 20% ist das Ziel auf alle Fälle nicht zu erreichen.

Hier sollen zwei Aspekte angesprochen werden, die die Bewertung und Stellung der Kernkraft in den nächsten Jahren verändern können.

### *Kernkraft und Erneuerbare im Marktgeschehen*

Die Einspeisung intermittierender Energiequellen wie Wind und Sonne hat Einfluss auf die Strompreise an den Börsen. Bei starker Einspeisung sinken wegen des steigenden Angebotes die Preise, bei schwacher Einspeisung steigen sie. Was wird dies langfristig für den Stromaustausch zwischen einem Land mit einem hohen Anteil Erneuerbarer wie Deutschland und einem Land mit viel Kernenergie wie Frankreich bedeuten? In einem ganz einfachen Modell wird demnach Deutschland bei niedrigen Preisen Strom nach Frankreich exportieren und bei hohen Preisen aus Frankreich importieren. Selbst bei ausgeglichenen Stromaustauschbilanzen würde sich ein finanzieller Vorteil für Frankreich ergeben.

Heute ist dieser Nachteil für die Betreiber Erneuerbarer Anlagen noch nicht merklich, da die Anlagen durch das EEG mit einem Festpreis für den gelieferten Strom vergütet wer-

den. Eine Änderung dieser Vorgehensweise würde die Wirtschaftlichkeit der meisten Erneuerbaren Stromerzeuger schlagartig in Frage stellen. Europa hat hier die einmalige Chance, verschiedene Systemansätze direkt miteinander zu vergleichen und auch an Marktmechanismen zu arbeiten, die diese unterschiedlichen Technologien in angemessener Weise fördern können.

### *Kernkraft und Elektromobilität: ein Traumpaar?*

Elektromobilität ist sicherlich eine interessante Option, die Emissionen des Verkehrs zu senken und auch die Brennstoffbasis zu erweitern und damit die drückende Abhängigkeit vom Erdöl zu vermindern. Der Erfolg der Elektromobilität hängt von vielen Faktoren wie der notwendigen Kostenreduktion bei den Batterien, der Akzeptanz niedrigerer Reichweiten usw. ab. Ein wichtiger Punkt sind aber auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Ladestromerzeugung. Untersuchungen zeigen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland bei kostenoptimierten Ladungen oft recht hoch ausfallen (vgl. Gohla-Neudecker et al. 2010). In Frankreich wird dies nicht erwartet. Gerade in den späten Nacht- oder frühen Morgenstunden sind die Kernkraftwerke nicht voll ausgelastet und können dann quasi CO<sub>2</sub>-freien Strom bereitstellen. Die Elektromobilität bietet damit eine optimale Möglichkeit, die nächtlichen Lasttäler zu füllen, was man in der Vergangenheit z.B. durch Nachtspeicheröfen versucht hat. Damit kann durch die Elektromobilität die Wirtschaftlichkeit der Kernkraft verbessert werden und Elektroautos laden im Gegenzug quasi CO<sub>2</sub>-freien Strom. Die CO<sub>2</sub>-freie Ladung mit Strom aus fluktuierenden Erneuerbaren Energiequellen ist dagegen deutlich komplizierter.

Auch hier wird man die Konkurrenz zwischen der überwiegend nuklearen Stromerzeugung in Frankreich und dem fossil-nuklear-erneuerbaren Mix in Deutschland untersuchen können. Die Strompreise und die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung sprechen hier erst einmal für Frankreich.

### **Kernkraft im Jahr 2050 und danach**

Kernkraft kann in zwei grundsätzlich sehr verschiedenen Formen genutzt werden, als Kernspaltung und als Kernfusion. Beide Formen sollen hier als Zukunftsoptionen kurz vorgestellt werden, wobei die Frage ist: Was muss heute unternommen werden, damit im Jahr 2050 kerntechnische Systeme bereitstehen, die als nachhaltig gelten können. Dieser Punkt kann hier natürlich nur sehr oberflächlich behandelt werden, aber wesentliche Kriterien der Nachhaltigkeit sind der Zugang zu ausreichenden Ressourcen zum Bau und Betrieb der Anlagen, eine Anlagensicherheit, die Katastrophen ausschließt, sowie keine langlebigen toxischen Abfälle und eine akzeptable Wirtschaftlichkeit.

Die Frage lautet dann also nicht mehr, brauchen wir im Jahr 2050 noch Kernenergie, sondern: Wie muss eine Kernenergie aussehen, die im Jahr 2050 als wesentlicher Baustein einer nachhaltigen Energiewirtschaft gelten kann, und was muss heute an Forschungsvorhaben angestoßen werden, damit dies in 40–50 Jahren realisiert werden kann.

»Im Jahr 2050 haben wir eine Erneuerbare Vollversorgung.« Mit diesem Einwand wird oft eine weitere, zukunftsweisende Entwicklung der Kernkraft abgelehnt. Es gibt zahlreiche Studien auf nationaler und europäischer Ebene, die zeigen, wie eine Vollversorgung mit Erneuerbaren Energien im Jahr 2050 aussehen soll. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit diesen Betrachtungen kann an dieser Stelle nicht geschehen. Aber viel wichtiger ist, dass der Verzicht auf Forschung in keiner Weise die Mittel freisetzen kann, die zur Markteinführung neuer Technologien notwendig sind.

Ideale Konstruktionen auf dem Papier oder im Computermodell lassen sich sicher oft nicht eins zu eins in der Realität umsetzen. Politische, wirtschaftliche und soziale Probleme verbunden mit Akzeptanzproblemen bei der Umsetzung neuer Technologien behindern auch den Ausbau Erneuerbarer Energien. Auch deswegen ist es geboten, Rückzugsoptionen zu entwickeln.

### *Wichtige Schritte zu einer nachhaltigen Kernenergie*

Die Nachhaltigkeitsdefizite der Kernenergie betreffen

- die begrenzte Brennstoffbasis,
- die Sicherheit im Betrieb und
- das Problem der Endlagerung.

Alle drei Probleme können durch die Entwicklung der Fusion behoben werden. Aber auch die Kernspaltung kann durch weitere Entwicklungen deutlich nachhaltiger werden. Ein Schlüssel dazu kann in der Entwicklung von Technologien zur Reduktion langlebiger Abfälle liegen.

### *Reduktion langlebiger radioaktiver Abfälle*

Endlagerung langlebiger radioaktiver Substanzen soll nach den heutigen Vorstellungen in tiefen geologischen Formationen geschehen. Bei der Untersuchung der Eignung gibt es verschiedene Ansätze. Dabei stellt sich die Suche nach geeigneten Standorten als überaus langwierig und kompliziert dar, wobei die Probleme zumeist politischer Natur sind.

Eine Möglichkeit, die Probleme der Endlagerung deutlich zu reduzieren, bietet das Konzept »Partitioning and Transmutation« (P&T). Dabei werden die langlebigen radioaktiven Substanzen zumeist in unterkritischen Reaktoren einem intensiven Neutronenhagel ausgesetzt. Der Neutronenhagel

induziert dabei entweder direkt oder über den Umweg eines Neutroneneinfangs eine Spaltreaktion. Am Ende bleiben dann nur die Spaltprodukte, die entweder stabil sind oder viel kürzere Lebensdauern aufweisen. Dadurch kann die Radiotoxizität des Abfalls langfristig deutlich reduziert werden.

Im Forschungszentrum SCK•CEN in Mol in Belgien wird an der Entwicklung einer durch einen Beschleuniger getriebenen Neutronenquelle mit dem Namen MYRRHA (vgl. MYRRHA 2010) gearbeitet, die auch in der Lage ist, Experimente zur Transmutation durchzuführen. Bis zum Jahr 2014 soll ein Engineering Design der Anlage vorgelegt werden, die Lizenzierung durchgeführt und ein internationales Konsortium zum Bau, Betrieb und zur Finanzierung gebildet sein.

Hier bietet sich ein Chance für Europa, eines der zentralen Probleme der Kernkraft deutlich zu entschärfen. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Kernkraftwerke heute abgeschaltet werden, oder ob sie noch viele Jahre in Betrieb sind. Schon heute gibt es radioaktive Abfälle, und auch deren Menge könnte so reduziert werden.

### *Fusion als neue Form der Kernenergie*

Die Fusion ist die Energiequelle der Sonne und anderer Sterne. Durch die Verschmelzung leichter Atomkerne werden große Mengen an Energie freigesetzt. Seit vielen Jahren arbeiten Wissenschaftler daran, die Fusion als Energie- bzw. Stromquelle nutzbar zu machen. Die Entwicklung ist dabei auf viele physikalische und technische Probleme gestoßen, die einer einfachen Realisierung entgegenstehen. Die Ergebnisse dieser Entwicklung sind in die Entwicklung des ITER-Experiments geflossen. ITER wird die prinzipielle Machbarkeit der Fusion unter Beweis stellen und Lösungen für eine Reihe der technischen Probleme bereitstellen.

Das ITER-Experiment wird zurzeit in Cadarache in Südfrankreich durch ein weltweites Konsortium mit starker Beteiligung durch die EU gebaut (vgl. ITER 2010). Nach dem erfolgreichen Betrieb von ITER hofft man, das erste Fusionskraftwerk auf Basis der ITER-Erfahrung planen und bauen zu können.

Fusionskraftwerke versprechen dabei eine Überwindung der oben genannten Nachhaltigkeitsdefizite. Die Brennstoffe stehen in ausreichender Menge zur Verfügung. Die Sicherheit während des Betriebs ist durch die prinzipiellen Eigenschaften – nicht zuletzt die niedrige Leistungsdichte – gewährleistet. Langlebige radioaktive Abfälle entstehen nicht.

## **Schlussfolgerungen**

Die Kernenergie ist heute eine wichtige Säule der Stromerzeugung in Europa. Daran wird sich sicher in den nächsten

Jahren wenig ändern, insbesondere wenn Europa seine Klimaziele ernst nimmt. Innerhalb der europäischen Länder unterscheidet sich die Struktur der Stromerzeugung deutlich. Dabei wird es in den nächsten Jahren einen steigenden Wettbewerb zwischen den Systemen geben. Einmal einen direkten Wettbewerb dadurch, dass der europäische Strommarkt immer stärker ausgebaut werden soll, aber auch indirekt z.B. darüber, welches Land die besten Bedingungen für Elektromobilität schafft. Dabei sehen die Bedingungen für Länder mit einem hohen Anteil an Kernenergie nicht schlecht aus.

Kernenergie sollte nicht nur als Brückentechnologie gesehen werden, sondern es sollten insbesondere umfangreiche Forschungsanstrengungen unternommen und unterstützt werden, die versprechen, eine nachhaltige Kernenergie zu schaffen. Zwei dieser Projekte wurden kurz vorgestellt.

## Literatur

- Europäische Union (2010), »EU Energy in Figures 2010«, online unter: [http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext\\_renewables\\_gross\\_electricity\\_generation.pdf](http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/ext_renewables_gross_electricity_generation.pdf).
- Gohla-Neudecker, B., P. Kuhn und U. Wagner (2010), »Nachhaltige Mobilität: Energiewirtschaftlich optimierte Bereitstellung von erneuerbarer Energie für Elektroautos«, Tagungsbandbeitrag, VDE-Kongress Leipzig 2010, ITER (2010), <http://www.iter.org>.
- MYRRHA (2010), <http://myrrha.sckcen.be/>.
- Wissel, S., O. Mayer-Spohn, U. Fahl und A. Voß (2007), »CO<sub>2</sub>-Emissionen der nuklearen Stromerzeugung«, Arbeitsbericht, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, online unter: [http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/Arbeitsbericht\\_02.pdf](http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/arbeitsberichte/Arbeitsbericht_02.pdf).