

Energiewende durch erneuerbare Energien

Chancen und Herausforderungen für Industrie und Gesellschaft

Uwe Leprich

Spätestens seit der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 sind sich die politischen Kräfte in Deutschland einig im Ziel, das Energiesystem umzubauen und auf die Nutzung der Atomenergie zu verzichten. Die Schlüsselrolle bei dieser Energiewende spielen die erneuerbaren Energien.

Die Idee einer Energieversorgung ohne Atomenergie und fossile Brennstoffe geht zurück auf alternative Wissenschaftler, die bereits in den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts die Risiken einer nuklearen Stromerzeugung als zu hoch einschätzten und zudem nach zukunftsfähigen Antworten auf die beiden Ölpreiskrisen suchten (vgl. v. a. Lovins 1978). Die 1980 veröffentlichte „Energiewende“-Studie des Öko-Instituts Freiburg war der erste Versuch, die damals bereits bekannten Effizienztechnologien und die Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energien (EE) zu einem in sich schlüssigen Gesamtkonzept zu verdichten (Öko-Institut 1980). Dieser Studie sollten im Laufe der Jahrzehnte zahlreiche weitere folgen, die die spektakulären technologischen Entwicklungen berücksichtigten und sich zudem immer

stärker an den Erfordernissen eines wirklichen Klimaschutzes orientierten.

1. Energiewende als Regierungspolitik

Spätestens mit dem Energiekonzept der schwarz-gelben Bundesregierung im Herbst 2010 ist die Energiewende offizielle Regierungspolitik in Deutschland geworden. Ihre wesentlichen Eckpfeiler sind

- der ehrgeizige Ausbau der erneuerbaren Energien mit dem Ziel, bereits im Jahr 2030 mindestens die Hälfte der Stromerzeugung und ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs damit abzudecken; langfristig wird eine 100%-Regenerativversorgung angestrebt,
- die Halbierung des Energieverbrauchs bis 2050 durch Erschließung der vorhandenen Effizienzpotenziale,
- daraus resultierend die umfassende Dekarbonisierung der Energiewirtschaft

mit einer nahezu vollständigen CO₂-Vermeidung im Jahr 2050,

- die Verabschiedung von der Atomenergie als künftige Stromerzeugungsoption.

Die Reaktorkatastrophe von Fukushima vom März 2011 hat an diesem Konzept nur insofern etwas verändert, als dass die Abschaltung der Atomreaktoren nun deutlich schneller erfolgen und das deutsche Nuklearkapitel bereits im Jahr 2022 geschlossen werden soll.

Die Tabelle 1 dokumentiert die energie- und klimapolitische Zielmatrix als Gerüst der bundesdeutschen Energiewende.

Darüber hinaus ist es hilfreich, sich die weiteren Ziele und Charakteristika der Energiewende vor Augen zu führen:

- Es handelt sich um ein gesellschaftliches Projekt, nicht nur um ein technisches oder ökonomisches,
- es ist ein Generationenprojekt,
- es ist ein ehrgeiziges Innovationsprojekt,
- es ist ein stark mittelständisch geprägtes Projekt,
- es erscheint geeignet, die starke Exportstellung Deutschlands in der Welt auch in Zukunft zu erhalten,
- es erscheint geeignet, regionale und kommunale Wertschöpfung zu stärken und qualifizierte Arbeitsplätze zu sichern,
- es eröffnet vielfältige Partizipationsmöglichkeiten,
- es ist ein konsens- und friedensstiftendes Projekt.

Schließlich müssen die unterschiedlichen „Wende“-Dimensionen der Energiewende berücksichtigt werden, wenn man der Reichweite des Projektes gerecht werden will. Sie umfassen unter anderem eine Klimaschutz-, Dezentralisierungs-, Importabhängigkeits-, Marktmacht-, Rendite-, Atom-, Fossile Energieträger-, Effizienz-,

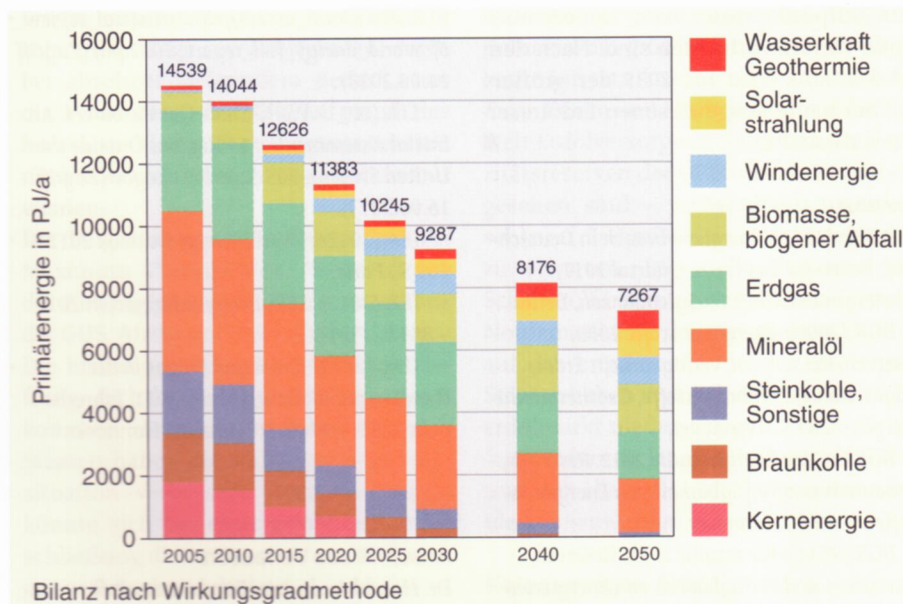


Abb. 1: Entwicklung des Primärenergiebedarfs in Deutschland bis zum Jahr 2050 (Szenario 2011 A)

Quelle: DLR/IWES/IFNE (2012), S. 102

	2011	2020	2050		
Treibhausgasemission			2030	2040	2050
Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	– 26,4 %	– 40 %	– 55 %	– 70 %	– 80 % bis – 90 %
Effizienz					
Primärenergieverbrauch (gegenüber 2008)	– 6,0 %	– 20 %		– 50 %	
Energieproduktivität (Endenergieverbrauch)	2,0 % pro Jahr (2008–2011)		2,1 % pro Jahr (2008–2050)		
Bruttostromverbrauch (gegenüber 2008)	– 2,1 %	– 10 %		– 25 %	
Anteil der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung	15,4 % (2010)	25 %		–	
Gebäudebestand					
Wärmebedarf	k. A.	– 20 %		–	
Primärenergiebedarf	k. A.	–	in der Größenordnung von – 80 %		
Sanierungsrate	rund 1 % pro Jahr		Verdopplung auf 2 % pro Jahr		
Verkehrsbereich					
Endenergieverbrauch (gegenüber 2005)	rund – 0,5 %	– 10 %		– 40 %	
Anzahl Elektrofahrzeuge	ca. 6.600	1 Mio.	2030: 6 Mio.		–
Erneuerbare Energien					
Anteil am Bruttostromverbrauch	20,3 %	mind. 35 %	2030: mind. 50 %	2040: mind. 50 %	2050: mind. 80 %
Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	12,1 %	18 %	2030: 30 %	2040: 45 %	2050: 60 %

Tab. 1: Energie- und klimapolitische Zielmatrix der Bundesregierung vom Herbst 2010

Quelle: BMWi/BMU (2012), S. 16

Infrastruktur-, Innovations-, Kommunikations- und Partizipationswende.

In diesem umfassenden Sinne handelt es sich bei der Energiewende um das deutsche Mondlandeprojekt, das Umweltminister Altmaier zu Recht auf eine Stufe mit dem Wiederaufbau nach dem Zweiten Weltkrieg stellte (Altmaier 2012).

Die konkrete Ausgestaltung der Energiewende beinhaltet aktuell noch eine Reihe von Freiheitsgraden, das heißt, die Erreichung der gesteckten Ziele ist jeweils mit einem unterschiedlichen Portfolio an Technologien möglich. Die Verknüpfung dieser Technologien zu in sich schlüssigen Szenarien ist eine wissenschaftliche Disziplin, die sich seit den gravierenden Fehlprognosen der 1970er-Jahre im Hinblick auf die Abschätzung des Energiebedarfs entwickelt hat und in Abhängigkeit vom Dateninput plausible Ergebnisse liefert. Seit etlichen Jahren hat in Deutschland die sogenannte Leitstudie unter der Federführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) einen Standard gesetzt, der auch von den letzten Bundesregierungen als solcher anerkannt wurde. Abbildung 1 zeigt, wie die aktuellste Leitstudie vom März 2012 die weitere Entwicklung des Energieverbrauchs in Deutschland bis zum Jahr 2050 sieht. Dabei wurde zum einen die Erreichung der Ziele der Bundesregierung vorausgesetzt, zum anderen eine volkswirtschaftliche Optimierung des Gesamtsystems vorgenommen. Man erkennt sofort, dass den größten Beitrag zur Erreichung der Ziele die Energieeffizienz liefert, die zu

einer Halbierung des Energieverbrauchs gegenüber heute führt. Während der fossile Energieträgereinsatz drastisch zurückgeht, ist ein stetiger Anstieg der Wind-, Solar- und Biomassenutzung zu verzeichnen. Sie decken 2050 mehr als die Hälfte des gesamten Primärenergiebedarfs ab.

2. Zur Notwendigkeit der Energiewende

Eine zentrale Begründung für eine grundlegend andere Energieversorgung war die Erkenntnis, dass die über viele Millionen Jahre entstandenen fossilen Energievorräte knapp sind und dass insbesondere Erdöl und Erdgas in absehbarer Zeit zur Neige gehen. Es war das Verdienst des Club of Rome, diesen Alarmruf bereits im Jahr 1973 an die Welt gesendet zu haben (vgl. Meadows u. a. 1973), und an dieser Erkenntnis hat sich trotz einer Reihe von Neufunden und Explorationen nichts Grundsätzliches geändert. Das Bundeswirtschaftsministerium geht davon aus, dass bei unverändertem weltweiten Energieverbrauch die konventionellen Öl- und Gasreserven noch 40 bis 60 Jahre zur Verfügung stehen (vgl. BMWi 2008, Schaubild 2), und dass beim Erdöl auch die unkonventionellen Reserven wie Ölschlämme oder Ölschiefer diese statische Reichwerte nicht signifikant verlängern. Einer aktuellen Studie der Energy Watch Group zufolge gehen die fossilen Brennstoffe noch schneller zur Neige als bislang angenommen (EWG 2013).

Ein weiterer Aspekt ist die extreme Ungleichverteilung der fossilen Reserven weltweit. Die Bundesanstalt für Geowis-

senschaften und Rohstoffe (BGR) identifizierte eine sogenannte „strategische Ellipse“ vom Persischen Golf bis zu den Gasfeldern im Norden Sibiriens, innerhalb derer rund 70 % der weltweiten konventionellen Erdölreserven und knapp 70 % der weltweiten Erdgasreserven lagern (vgl. BGR 2009, S. 253). Die Mehrzahl der Länder innerhalb der strategischen Ellipse müssen als politisch instabil betrachtet werden; entsprechend unsicher sind die Aussichten auf gesicherte Importe und stabile Preise.

Auch die fieberhafte Suche nach neuen Möglichkeiten der Gewinnung fossiler Brennstoffe wird das Problem der Knappheit nicht lösen können, birgt aber neue Gefahren: So verwüstet die Ölgewinnung aus Ölsänden in Kanada bereits weite Landstriche, und so verdeutlichte die Explosion der Ölplattform Deepwater Horizon im Golf von Mexiko im April 2010 die besondere Gefahr, die von Ölbohrungen in den Meeren ausgeht. Auch die mit der Gewinnung von Erdgas in tiefen Gesteinen (Fracking) einhergehenden Gefahren für das Grundwasser und die seismische Stabilität haben bereits zu massiven Akzeptanzproblemen dieser neuen Technologie geführt (vgl. SRU 2013).

Schließlich gebieten die Gefahren einer kontinuierlichen Erderwärmung durch den Ausstoß von Treibhausgasen – insbesondere von CO₂ – die sukzessive Dekarbonisierung der Energiesysteme. Nach einer Studie des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) aus dem Jahr 2009 dürfen nur noch weniger als ein

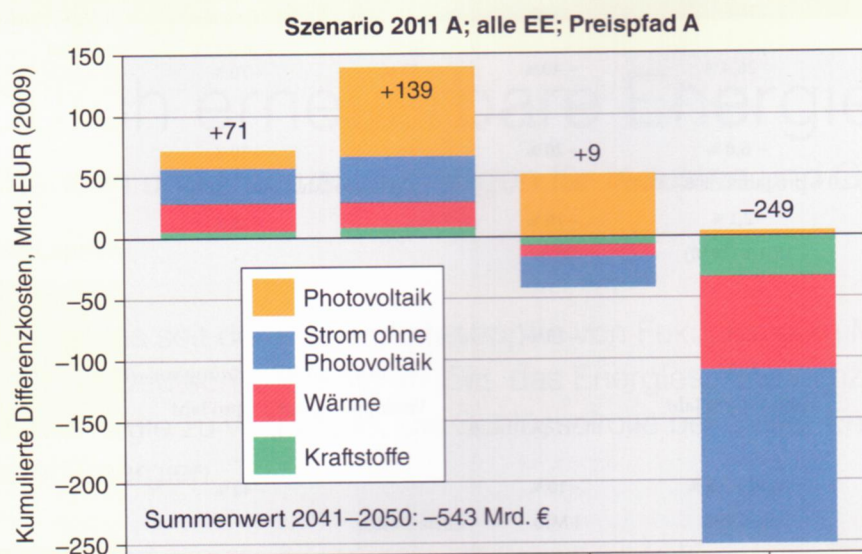


Abb. 2: Kumulierte systemanalytische Differenzkosten der gesamten Energiebereitstellung aus EE im Szenario 2011 A

Quelle: DLR/WES/IFNE (2012), S. 234

Viertel der nachgewiesenen Vorkommen fossiler Brennstoffe bis zum Jahr 2050 verbrannt werden, wenn die globale Erwärmung auf zwei Grad Celsius begrenzt werden soll (vgl. Meinshausen et. al. 2009). Damit hat sich die vom Club of Rome seinerzeit identifizierte Restriktion relativiert: Nicht mehr die begrenzten fossilen Vorräte im Boden bilden den Engpass für die künftige Energieversorgung, sondern „der Himmel“.

Die Begrenzung der zusätzlichen Erdwärmung im globalen Mittel auf maximal 2 Grad Celsius ist nach wie vor die offizielle Position der Europäischen Union und die Grundlage für die 20-20-20-Ziele des Europäischen Rates vom März 2007, wonach bis 2020

- die CO₂-Emissionen gegenüber 1990 um 20 % reduziert werden sollen,
- der Anteil erneuerbarer Energien auf 20 % zunehmen soll und

- 20 % Energieeinsparung im Vergleich zu einer Referenzentwicklung erreicht werden sollen.

Diese Position wird auch von der Internationalen Energieagentur (IEA) gestützt, die in ihrem jährlichen „World Energy Outlook“ ebenfalls seit Jahren davon ausgeht, dass das 2-Grad-Ziel eingehalten werden muss (vgl. IEA 2012).

3. Chancen der Energiewende und ihre ökonomische Sinnhaftigkeit

Neben ihrer Bedeutung für den Klimaschutz eröffnet die Energiewende eine Reihe von Chancen, die sowohl volkswirtschaftlich als auch gesamtgesellschaftlich von großer Bedeutung sind:

- Aktuell wird der Energiebedarf in Deutschland zu rund 70 % durch Importe gedeckt (vgl. BGR 2013, S. 10). Den größten Teil machen dabei Erdöl- und Erdgasimporte aus, die künftig aufgrund ihrer geographischen Verteilung immer stärker aus politisch instabilen Ländern stammen dürften.
- Durch den Import von fossilen Energieträgern fließen jährlich rund 90 Mrd. Euro ins Ausland. Durch die Nutzung erneuerbarer Energien verbleibt ein immer größer werdender Teil davon im Lande. Allein auf der kommunalen Ebene wurden 2011 bereits 10,5 Mrd. Euro an Wertschöpfung durch erneuerbare Energien generiert (vgl. IÖW 2012, S. 16).
- Bislang wurden knapp 380.000 neue Arbeitsplätze im Bereich der erneuerbaren Energien geschaffen, davon die meisten zu jeweils gleichen Teilen in den Bereichen Wind, Solar und Biomasse (vgl. BMU 2013).
- Waren die großen Energiekonzerne bis vor kurzem noch marktbeherrschend (vgl. BKA 2011), mit erheblichem Einfluss auf die politischen Entscheidungsprozesse im Bund und in den Ländern, bröckelt diese Marktmacht mit dem Ausbau der Erneuerbaren zunehmend. Hinzu kommt die liberalisierungsbedingte Schwächung der Marktstellung durch die (z.T. erzwungene) Veräußerung der Übertragungsnetze und von Beteiligungen an Weiterverteilern wie Stadtwerke oder Regionalversorger.

Jenseits dieser vielfältigen Chancen ist zu beachten, dass ein Energiesystem, das auf erneuerbaren Energien beruht und die fossilen und nuklearen Brennstoffe weitgehend ersetzt, langfristig für die Volkswirtschaft kostengünstiger ist als die Beibehaltung des bisherigen fossil-nuklearen Energiesystems. Lediglich für

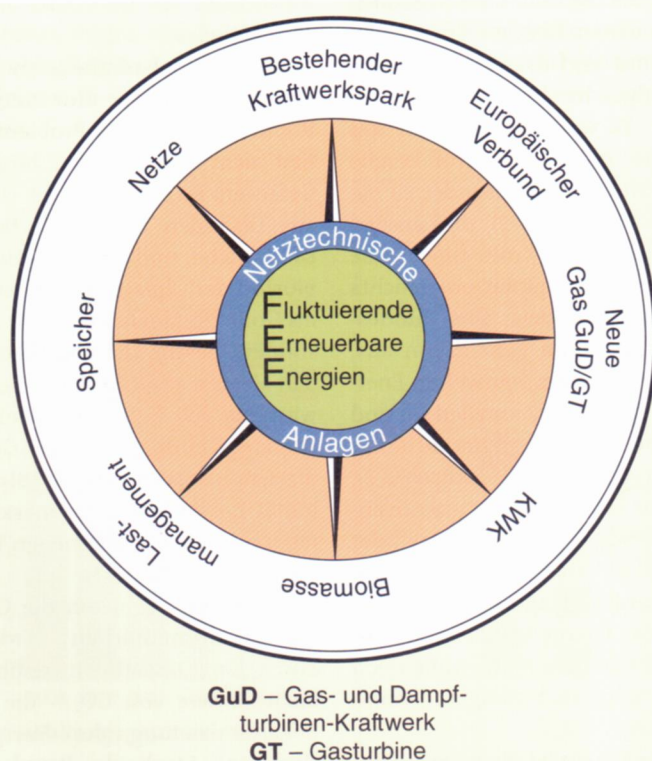


Abb. 3: Das künftige bundesdeutsche Stromsystem mit seinen technischen Systemkomponenten

Quelle: Leprich (2013), S. 102

eine Übergangszeit ist für alle mit höheren Kosten zu rechnen. Die Abbildung 2 demonstriert die entsprechende Modellrechnung der Leitstudie 2011.

Ebenfalls volkswirtschaftlich hatte 2007 bereits der sogenannte Stern-Report argumentiert (vgl. Stern 2007), der ermittelte, dass

- die zu erwartenden Schäden durch den Klimawandel bis zum Jahr 2100 Werte zwischen 5 % bis 20 % an der globalen Wirtschaftsleistung erreichen,
- während effektive Präventionsmaßnahmen (insbesondere die Reduktion von CO₂) dem gegenüber nur knapp 1 % der globalen Wirtschaftsleistung benötigen.

4. Zur technischen Ausgestaltung der Energiewende

Die Entwicklung des bundesdeutschen Stromsystems erscheint für eine mittelfristige Perspektive mittlerweile relativ klar: Bis zur Hälfte des Stromverbrauchs kann über die heimischen Energiequellen Wind, Solar, Biomasse und kleine Wasserkraft gedeckt werden, wobei die fluktuierenden erneuerbaren Energien (FEE) Wind und Photovoltaik (PV) hieran den größten Anteil haben.

Die Abbildung 3 fasst diese Systemperspektive zusammen, die im Folgenden umfassender beschrieben werden soll.

4.1 Die FEE-Anlagen als Herzstück des künftigen Stromsystems

Während es in vielen Teilen der Welt bereits hydro- oder biomassegeprägte Stromsysteme gibt, unterscheidet sich das aufzubauende Regenerativsystem in Deutschland davon fundamental: Es wird geprägt von Wind- und Solaranlagen. Dafür gibt es eine Reihe von guten Gründen:

- Diese Anlagen sind selbst in einer geographisch nicht besonders privilegierten Lage wie Deutschland gut geeignet, erhebliche Beiträge zur Stromversorgung zu erbringen.
- Sie haben in der Vergangenheit die vergleichsweise größten Kostendegressionen gemeistert, und es besteht die begründete Aussicht, dass sich diese Degression noch einige Zeit fortsetzt und diese beiden Technologien die kostengünstigsten Stromerzeugungsoptionen überhaupt werden.
- Durch ihren dezentralen Charakter sind sehr viele Akteure in der Lage, diese Anlagen zu errichten und zu betreiben; Akteursvielfalt durch einen breiten energiewirtschaftlichen Mittelstand ist unter Marktmachtgesichtspunkten sehr positiv zu bewerten.

- Ihre Akzeptanz ist im Vergleich zu vielen anderen, insbesondere zentraleren Erzeugungstechnologien sehr hoch; sie lässt sich durch direkte Beteiligungen der Bürger noch weiter steigern.

Die Entscheidung, in Deutschland auf eine sehr weitgehende Nutzung von Wind und PV zu setzen, scheint mittlerweile gefallen zu sein. Offen ist damit nicht mehr das „Ob“, sondern das „Wie“ beziehungsweise auch das „Wie-schnell“. Es ist absehbar, dass zur Erreichung der Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung und zur besseren Orientierung der Marktteilnehmer für beide Techniken quantitative Ziele gesetzt werden, die zu vertretbaren Kosten eine möglichst maximale Ausnutzung dieser grenzkostenfreien und klimaverträglichen Energiequellen gewährleisten.

4.2 Netze und Speicher

Ein Stromsystem, das FEE-Anlagen in das Zentrum rückt, benötigt technische Optionen, die unvermeidlichen Schwankungen auszugleichen und die Versorgungssicherheit auch dann zu gewährleisten, wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint.

Eine naheliegende Möglichkeit ist zunächst der großflächige Ausgleich über die Stromnetze. Je besser die geographische Durchmischung der Anlagen, desto höher sind die gegenseitigen Ausgleichseffekte. Daher hat der Netzausbau zu Recht eine hohe Priorität, zumal es meist die kostengünstigste Möglichkeit ist, Schwankungen im Dargebot auszugleichen.

Im Fokus stehen dabei zunächst die Übertragungsnetze als Hauptschlagadern des Systems; sie verantworten den Transport auf der Höchstspannungsebene (380 kV) über weite Strecken und sind zentral für die Systemsicherheit. Ihr Ausbau ist in den letzten Jahren nur schleppend vorangekommen, was zum einen an sehr langen Antrags- und Genehmigungsverfahren, zum anderen an lokalem Widerstand gegen einzelne Trassen lag (vgl. BNetzA 2011). Eine Rolle dürfte auch die fehlende eigentumsrechtliche Trennung zwischen Übertragungsnetz und Großkraftwerken gespielt haben, da die Energiekonzerne als Besitzer von beidem wenig Interesse daran hatten, die Bahn für die erneuerbaren Energien frei zu machen. Seit dem Verkauf der Netze von E.ON und Vattenfall und dem Teilverkauf des RWE-Übertragungsnetzes hat sich die Interessenlage hier deutlich verbessert.

Die bei weitem meisten EE-Anlagen speisen ihren Strom in das Verteilernetz

ein, das daher ebenfalls ausgebaut werden muss. Hier haben sich die Netzbetreiber – im Wesentlichen die Stadtwerke und Regionalversorger – seit dem Jahr 2005 daran gewöhnen müssen, dass die Netzentgelte staatlich reguliert werden. Die damit einhergehende Kostenkontrolle war in den letzten Jahren relativ scharf und die Kostenanerkennung von Investitionen mit Unsicherheiten behaftet, sodass es auch hier zu Verzögerungen gekommen ist. Mittlerweile scheint sich die Situation zu beruhigen, und die Verteilnetzbetreiber sind verstärkt dabei, ihre Hausaufgaben zu machen und die Netze für die erneuerbaren Energien zu ertüchtigen.

Wegen des fluktuierenden Charakters von Wind und Solar könnte man schnell auf den Gedanken kommen, dass für ihren Ausgleich Stromspeicher notwendig wären. Dabei werden jedoch einerseits die Ausgleichseffekte der Erneuerbaren selbst übersehen, die durch ausreichende Netze erschlossen werden können, andererseits auch die Flexibilität, die bereits heute im System vorhanden sind. Aktuell ist man sich im wissenschaftlichen Bereich relativ einig, dass bis zu einem Anteil von 40 % erneuerbare Energien keine zusätzlichen Speicher notwendig sind, wenn die bereits bestehenden Flexibilität genutzt und noch mögliche neue erschlossen werden (vgl. VDE 2012).

Allerdings ist klar, dass auf dem Weg zu einem 100 %-erneuerbaren-Stromsystem neue Stromspeichersysteme notwendig sind. Umstritten ist aktuell jedoch, welche Speicher das sein können. Eine mögliche Option ist das Anzapfen der riesigen norwegischen Wasserspeicher („Norwegen als Batterie Europas“), vorausgesetzt, die entsprechenden Leitungen werden durch die Nord- und Ostsee gelegt (vgl. Prognos 2012). Eine weitere Möglichkeit ist die Umwandlung von regenerativem Überschussstrom in Wasserstoff und dann in Methan mit der Möglichkeit, dieses im Gasnetz einzuspeichern (*power to gas*; vgl. dazu Sterner 2009). Schließlich könnten auch neue Akku- und Batteriekonzepte einen Beitrag zur dezentralen Speicherung von Strom leisten – sei es in den Kellern der Haushalte, sei es in Elektrofahrzeugen oder in Trafostationen. Möglicherweise wird sich am Ende auch eine Mischung aus zentralen und dezentralen Speichern durchsetzen.

4.3 Die Flexibilitätsoptionen

Zur Flankierung und zum Ausgleich der schwankenden Beiträge der FEE werden flexible Optionen als Lückenfüller be-

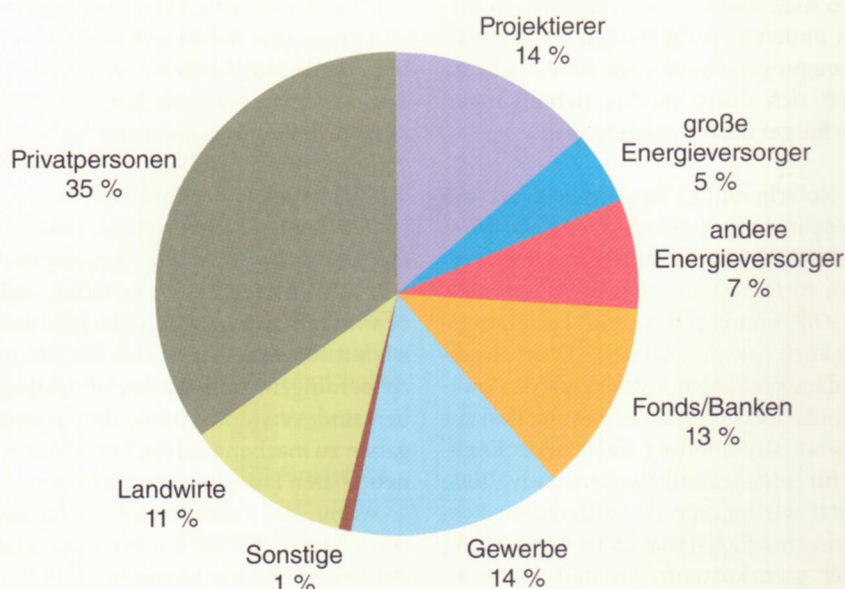


Abb. 4: Eigentümer an der bundesweit installierten Leistung zur Stromerzeugung aus EE-Anlagen 2012 (72.900 MW)

Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien (www.unendlich-viel-energie.de)

nötigt. Wie die Abbildung 3 zeigt, stehen hier sehr unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung: Zunächst natürlich der bestehende konventionelle Kraftwerkspark, der dabei ist, sich immer stärker zu flexibilisieren. Aber auch die KWK-Anlagen, die mit fossilen Energien oder Biomasse betrieben werden, bieten zum Beispiel bei einer Nachrüstung mit Wärmespeichern neue Flexibilität. Beim Neubau von Kraftwerken kommen in erster Linie Gaskraftwerke in Frage, die eine deutlich höhere Flexibilität aufweisen als Kohlekraftwerke und zudem kostengünstiger zu errichten sind. Darüber hinaus gibt es auch bei den Verbrauchern selbst Möglichkeiten, Lasten zu verschieben und damit einen Systemausgleich zu erbringen, wenn auch derzeit eher bei industriellen und großen gewerblichen Verbrauchern. Schließlich sind über die bereits diskutierten Flexibilitätsoptionen Speicher und Infrastrukturen/Netze hinaus auch die grenzüberschreitenden Ausgleichsmöglichkeiten im europäischen Verbund stärker und systematischer zu analysieren, um auf Dauer Überkapazitäten und Fehlinvestitionen zu vermeiden.

4.4 Systemdienstleistungen

Für die Erbringung von Systemdienstleistungen wie Frequenz- und Spannungshaltung, Bereitstellung von Blindleistung und Netzwiederaufbau stehen heute im wesentlichen Großkraftwerke als netztechnische Anlagen zur Verfügung.

Der gesetzlich bedingte Einspeisevorrang der EE und die zukünftige Rolle der FEE als Grundpfeiler der Regenerativ-

wirtschaft bedingen jedoch, dass der Stromsektor danach ausgerichtet werden sollte, dass auch die netztechnischen Notwendigkeiten sukzessive von den FEE-Anlagen und den Flexibilitätsoptionen übernommen werden können. Da die FEE-Anlagen hohe Investitionskosten und vergleichsweise niedrige Grenzbeziehungsweise Betriebskosten aufweisen, sollte (unter Beachtung der jeweiligen technischen Möglichkeiten) darauf geachtet werden, dass die Fähigkeit zur Erbringung der verschiedenen Systemdienstleistungen bereits bei der Investitionsentscheidung berücksichtigt wird.

Insgesamt ist das künftige Stromsystem demnach technisch charakterisiert durch das Zusammenspiel von FEE-Anlagen, Flexibilitätsoptionen und Infrastrukturen/Netzen zur sicheren Abdeckung der Nachfragelast sowie zur Erbringung der notwendigen Systemdienstleistungen.

5. Akteure der Energiewende

Die Entwicklungen in den letzten Jahren haben dazu geführt, dass die vier großen Energiekonzerne Deutschlands stark an Marktmacht eingebüßt haben. Mussten sie sich erst größtenteils von den Übertragungsnetzen trennen, verlieren sie nun Monat für Monat Marktanteile bei der Stromerzeugung, dem Rückgrat ihres bisherigen Geschäftsmodells. Und auch ihre zahlreichen Beteiligungen an Stadtwerken und Regionalversorgern sind rückläufig.

Während sich bei den Netzen zunehmend Finanzinvestoren engagieren, ist bei der Stromerzeugung im Hinblick auf die

erneuerbaren Energien ein breiter energiewirtschaftlicher Mittelstand entstanden, der neben Projektentwicklern und kleinen Finanzierungsgesellschaften auch eine ständig wachsende Anzahl an Energiegenossenschaften umfasst. Die Abbildung 4 verdeutlicht die breite Eigentümerschaft an EE-Anlagen in Deutschland.

Schließlich haben die häufig schon tot gesagten Stadtwerke sehr gute Chancen, zum Rückgrat der Energiewende zu werden. Dafür sprechen sowohl ihre dezentrale Verankerung, ihre finanziellen Möglichkeiten als auch ihr guter Ruf in der Bevölkerung.

Motor der Energiewende sind sie bislang jedoch nicht; im Gegenteil sind sie erst in den letzten Jahren auf den Zug der erneuerbaren Energien aufgesprungen, und auch ihre Aktivitäten im Bereich Energieeffizienz haben meist noch PR-Charakter oder dienen als Feigenblatt. Zum Teil behindern jedoch auch die bestehenden Rahmenbedingungen ein entsprechendes Engagement.

Perspektivisch sind die Stadtwerke gut beraten, im Netzbereich künftig noch stärker zu kooperieren, um die anstehenden Herausforderungen bewältigen zu können. Letztlich wird jedoch der Ausbau der dezentralen Erzeugung und hier vor allem der EE darüber entscheiden, ob die Stadtwerke die Chancen der Energiewende ausreichend beim Schopf packen.

6. Grundsätzliche und aktuelle Herausforderungen

Mit der Liberalisierung des Stromsektors ab Mitte der 1990er-Jahre waren viele der Ansicht, damit ein marktwirtschaftliches System geschaffen zu haben, das die Stromversorgung effizienter machen und zudem Anreize für Innovationen und technischen Fortschritt bieten würde. Und in der Tat wurden seither Ineffizienzen im System abgebaut, Monopolgewinne abgeschmolzen und neue technische Konzepte vorangetrieben (vgl. dazu Leprich 2011).

Allerdings konnte man bei der Einführung der Liberalisierung nicht ahnen, dass recht bald ein weiterer grundlegender Paradigmenwechsel anstünde, der die erneuerbaren Energien ins Zentrum des Systems rücken würde. Damit verbunden sind eine Reihe von grundsätzlichen Herausforderungen an die Weiterentwicklung des Stromsystems:

- Die Strombörse als zentrales Wettbewerbselement des liberalisierten Stromsektors ist ein grenzkostenorientierter Allokationsmechanismus: Im Wesentlichen bestimmen die Brenn-

stoffkosten des letzten noch benötigten Kraftwerks den Börsenpreis, das heißt die „Grenzkosten des Grenzkraftwerks“. Diese Preisbildung sichert einen optimalen Einsatz bestehender Kraftwerke in der Reihenfolge ihrer jeweiligen Brennstoffkosten (genauer: ihrer variablen Kosten). Da Wind- und Solaranlagen keine Brennstoffkosten aufweisen, drücken sie immer dann den Börsenpreis nach unten, wenn der Wind weht und/oder die Sonne scheint (*Merit-Order-Effekt*; vgl. z. B. Bode/Groscurth 2006).

- Die erste Auswirkung dieses Effektes besteht darin, dass sich Wind- und Solaranlagen unvermeidlich ihre eigenen Erlösmöglichkeiten an der Strombörse kannibalisieren und sich daher auf Dauer nicht „am Markt“ refinanzieren können (vgl. z. B. Kopp u. a. 2012). Insofern bedarf es stets eines eigenständigen Finanzierungsmechanismus für Wind- und Solaranlagen, der parallel zur Börse und des damit verbundenen Großhandelsmarktes die Investitionen in diese Anlagen ermöglicht. Aktuell ist dies das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).
- Eine weitere Auswirkung des Effektes besteht darin, dass der durch den Ausbau der erneuerbaren Energien tendenziell sinkende Börsenpreis den Zubau von Kraftwerken zur Flankierung der erneuerbaren und zur Sicherung der Versorgung immer weniger anreizt. War man früher der Ansicht, dass dieses Zubauproblem durch Preisspitzen, die sich bei hohem Nachfrageüberschuss bilden würden, gelöst werden könne, tendiert man mittlerweile eher dazu, dass das System um sogenannte Kapazitätsmechanismen ergänzt werden müsse (vgl. IZES 2012, S. 25 ff.), die die Leistungsvorhaltung honorieren und dadurch den Zubau von Kraftwerken ermöglichen, die zwar immer weniger eingesetzt werden müssen, für die Versorgungssicherheit in wind- und sonnenarmen Zeiten aber unumgänglich sind.
- Schließlich führt der Effekt aktuell auch dazu, dass zwar Kraftwerke mit sehr niedrigen Brennstoffkosten wie Braunkohle- oder Atomkraftwerke noch wirtschaftlich betrieben werden können, nicht jedoch beispielsweise hocheffiziente Gaskraftwerke, die aufgrund ihrer Flexibilität auf Dauer viel besser in das künftige System passen würden. Eine Lösung für dieses Problem könnte darin bestehen, neben der geplanten Stilllegung der Atomkraftwerke bis 2022 auch ein Kohleausstiegsgesetz zu konzipieren (vgl. Klinski 2012), das die sukzes-

sive Abschaltung der alten ineffizienten Kohlekraftwerke absichert, die zum Teil seit den 1950er- und 1960er-Jahren betrieben werden und ihre Kapitalkosten bereits mehrfach erwirtschaftet haben.

Neben dieser grundsätzlichen Herausforderung eines erweiterten Systemdesigns für das künftige, durch Wind- und Solaranlagen geprägte System besteht aktuell eine wesentliche Herausforderung der Energiewende darin, ihre bislang sehr hohe Akzeptanz zu erhalten.

Sie ist insbesondere durch die stark gestiegene EEG-Umlage gefährdet, die von 2 ct/kWh in 2010 auf mittlerweile 6,24 ct/kWh angestiegen ist. Dies ist zu einem Teil darauf zurückzuführen, dass immer mehr Industrieunternehmen von der Umlage entlastet und die Kosten auf die übrigen Verbraucher umgelegt werden.

Wichtig wäre es daher, diese Entlastung wieder auf jene Industrieprozesse zurückzuführen, für die höhere Stromkosten im harten globalen Wettbewerb tatsächlich zu gravierenden Wettbewerbsnachteilen führen, und darüber hinaus die Stromeffizienz bei allen Verbrauchergruppen voranzubringen, um die Stromrechnungen als Produkt von Preis und Menge für alle bezahlbar zu halten. Darüber hinaus wäre zu überlegen, wie das Paradoxon entschärft werden kann, dass die EEG-Umlage immer dann steigt, wenn die Börsenpreise – bedingt durch den Ausbau der erneuerbaren Energien – sinken.

Schließlich ist für die Energiewende auch die Akzeptanz der infrastrukturellen Voraussetzungen wichtig, insbesondere der Ausbau der bestehenden Stromübertragungsnetze. Der Deutsche Bundestag hat im April 2013 ein Gesetz zum Ausbau der Höchstspannungsstromleitungen auf der Grundlage des Netzentwicklungsplans der Übertragungsnetzbetreiber beschlossen, dem ein Konsultationsverfahren vorausgegangen war. Gleichwohl wird die erfolgreiche Umsetzung des Gesetzes auch davon abhängen, inwieweit die betroffenen Bürger die geplanten Maßnahmen einsehen und als notwendigen Teil der Energiewende begreifen.

7. Ausblick und Voraussetzungen für eine erfolgreiche Energiewende

Die Energiewende im Stromsektor ist für den Umbau des Energiesystems zweifellos der zentrale Baustein. Es zeichnet sich heute ab, dass Wind- und Solaranlagen zur Stromerzeugung das Herzstück des neuen Systems bilden und seine Rationalität prägen werden. Diesen dargebotsabhängigen

fluktuierenden Energien werden sich alle anderen technischen Optionen, die das System ergänzen, unterordnen müssen; entsprechend hohe Flexibilitätsanforderungen an sie werden gestellt.

Die erste Etappe der Energiewende, die zu einem Anteil der erneuerbaren Energien von rund 25% an der gesamten Stromerzeugung geführt hat, war vergleichsweise einfach: Die Stromnetze waren gut ausgebaut und konnten die neuen Kapazitäten ohne größere Probleme aufnehmen, die Auslastung der fossilen und nuklearen Großkraftwerke ging zwar teilweise zurück, gefährdete aber nicht deren Wirtschaftlichkeit, und die finanziellen Belastungen der Verbraucher wurden durch die hohen Preisschwankungen an der Strombörse zumindest temporär relativiert.

Aktuell hat die zweite Etappe begonnen, bei der es darum geht, die noch vorhandenen Flexibilitäten bei den fossilen und nuklearen Kraftwerken sowie bei den industriellen und gewerblichen Verbrauchern maximal auszunutzen und den Anteil erneuerbarer Energien auf bis zu 50% zu steigern, ohne dass dafür in signifikantem Umfang Stromspeicher notwendig wären. Diese zweite Etappe könnte die entscheidende für die Umsetzung der Energiewende sein, und sie wird aus mehreren Gründen deutlich schwieriger:

- Die Stromnetze müssen rasch und erheblich ausgebaut werden, um den zuwachsenden erneuerbaren Strom aufnehmen zu können. Das betrifft sowohl die Übertragungsnetze insbesondere in Nord-Süd-Richtung als auch die Verteilernetze insbesondere in Regionen mit hoher Wind- oder Solaranlagendichte.
- Die Auslastung der fossilen und nuklearen Kraftwerke wird weiter deutlich zurückgehen, ihr Verschleiß durch häufiges Anfahren und Abregeln zunehmen. Die Börsenpreise werden – bedingt durch den Merit-Order-Effekt – die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zunehmend in Frage stellen.
- Der Zubau von Backup-Kapazitäten, die immer dann flexibel einspringen müssen, wenn das Wind- und/oder Solarangebot ausfällt, wird ohne eine Systemergänzung, die einen Zahlungsstrom für Leistungsvorhaltung generiert, kaum erfolgen. Versorgungssicherheit muss erstmals aktiv politisch adressiert werden und wird nicht nebenbei durch das bestehende System bereitgestellt.
- Die finanziellen Belastungen der Verbraucher in der Umbauphase hin zu einem nachhaltigeren, aber auch kostengünsti-

geren System werden immer stärker zum Politikum, auch wegen einer zunehmend kritischeren Medienberichterstattung.

Wenn die Politik auf diese Herausforderungen defensiv reagiert und versucht, das Tempo des Umbaus und der Systemtransformation zu drosseln, wäre die Gefahr groß, dass die Dynamik des Transformationsprozesses zum Erliegen käme. Das hätte fatale Folgen für die weitere Kostenentwicklung der erneuerbaren und die Geschäftsmodelle der neuen Akteure, die bislang für diese Dynamik standen: Planer und Projektentwickler, Projektkonsortien, Energiegenossenschaften sowie die entsprechenden Finanzakteure, die die Finanzierung der Energiewende ermöglicht haben. Vor diesem Hintergrund sind die nächsten Jahre entscheidend für den Erfolg der Energiewende.

Der weitere Weg in Richtung 100 % erneuerbare Energien – die dritte Etappe – wird ohne eine erhebliche Steigerung der Energie- und Stromeffizienz nicht beschritten werden können. Hier wird es insbesondere darum gehen, über ordnungsrechtliche und preissteuernde Instrumentarien die Produzenten dazu zu bringen, effiziente Techniken sehr viel schneller zu verbreiten und ineffiziente Techniken aus den Märkten zu nehmen. Zudem werden erhebliche Kapazitäten an Stromspeichern notwendig sein, um erneuerbaren Überschussstrom dann zur Verfügung zu haben, wenn das natürliche Dargebot ausfällt.

Insgesamt wird in den nächsten Jahren eine bessere Koordination der Energiewende-Aktivitäten durch die Bundesregierung notwendig sein, um divergierende Interessen einzufangen und die Beharrungskräfte der alten Vor-Energiewende-Welt zu neutralisieren. Ein Scheitern der Energiewende hätte letztlich eine verheerende Signalwirkung für den ökonomischen und gesellschaftlichen Standort Deutschland. ■

Literatur

Altmaier, Peter (2012): Mit neuer Energie. 10-Punkte-Programm für eine Energie- und Umweltpolitik mit Ambition und Augenmaß, Berlin, August.

Bode, S.; Groscurth, H. (2006): Zur Wirkung des EEG auf den Strompreis. HWWA Discussion, Paper 348, Hamburg.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, 2009): Energierohstoffe 2009 – Reserven, Ressourcen, Verfügbarkeit Hannover.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, 2013): Energiestudie 2012 – Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit, Hannover.

Bundeskartellamt (BKA, 2011): Sektoruntersuchung Stromerzeugung Stromgroßhandel, Bericht gemäß § 32e Abs. 3 GWB, Bonn, Januar.

Bundesministerium für Umwelt (Hrsg., 2013): Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien im Jahr 2012 – eine erste Abschätzung, März.

Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi, 2008): Energie in Deutschland. Trends und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland, Berlin, Mai.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMWi/BMU, 2012): Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, Berlin, Dezember.

Bundesnetzagentur (BNetzA, 2011): Bericht zur Auswertung der Netzzustands- und Netzausbauberichte der deutschen Elektrizitätsübertragungsnetzbetreiber, Bonn, März.

DLR/IWES/IFNE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, Berlin, 29. März.

Energy Watch Group (EWG, 2013): Fossile und Nukleare Brennstoffe – die künftige Versorgungssituation, März.

International Energy Agency (IEA, 2012): World Energy Outlook, Paris, November.

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW, 2012): Effekte der Ausbaupläne für Erneuerbare Energien bis 2020 auf Arbeitsplätze und Wertschöpfung, Kurzstudie im Auftrag von Greenpeace Deutschland, Hamburg.

Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES, 2012): Kompass-Studie, Gutachten im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energien (BEE) und Greenpeace Energy, November.

Klinski, S. (2012): Genehmigungsrechtliche Rahmenbedingungen für Kraftwerksneubau und -fortbetrieb in der Energiewende, in: EnergieRecht 2/12, S. 47–55.

Kopp, O. u. a. (2012): Können sich erneuerbare Energien langfristig auf wettbewerblich organisierten Strommärkten finanzieren? In: Zeitschrift für Energiewirtschaft, Jg. 36, Heft 4, S. 243–255, Dezember.

Leprich, Uwe (2011): Systemtransformation statt Systemintegration: auf dem Weg zu einem zukunftsfähigen Stromsystem, in: Dietmar Schütz und Björn Klusmann (Hrsg.): Die Zukunft des Strommarktes, Pöschel Press: Bochum, S. 11–36.

Leprich, Uwe (2013): Transformation des bundesdeutschen Stromsystems im Spannungs-

feld von Wettbewerb und regulatorischem Design, in: ZNER – Zeitschrift für Neues Energierecht, Heft 2/2013, S. 101–106.

Lovins, Amory B. (1978): Sanfte Energie. Für einen dauerhaften Frieden, Reinbek: rororo.

Meadows, D./Meadows, Donella/Zahn, Erich/Milling, Peter (1973): Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Reinbek: rororo.

Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J. und Allen, M. (2009): Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2 °C, in: Nature, doi: 10.1038/nature08017.

Öko-Institut (1980): Energiewende.

Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran, Freiburg: Dreisam Verlag.

Prognos AG (2012): Bedeutung der internationalen Wasserkraft-Speicherung für die Energiewende, Berlin, 9. Oktober.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2013): Fracking zur Schiefergasgewinnung, Ein Beitrag zur energie- und umweltpolitischen Bewertung, Berlin, Mai.

Stern, N. (2007): Stern Review „The Economics of Climate Change“, Cambridge University Press, Januar.

Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100 % renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems, Kassel University, Dissertation.

Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE, 2012): Energiespeicher für die Energiewende – Speicherungsbedarf und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz für Szenarien bis 2050.

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Uwe Leprich, Institut für Zukunfts-Energie-Systeme (IZES gGmbH), Altenkesseler Straße 17, D-66115 Saarbrücken, E-Mail: leprich@izes.de