

Wolfgang Fratzscher

Energietechnik und Energiewende

1 Dialektik von Wissenschaft und Technologie

Das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Technik oder allgemeiner Technologie ist natürlich dialektisch. Es gibt hervorragende Beispiele, insbesondere aus der jüngsten Vergangenheit, wie aus wissenschaftlichen Erkenntnissen ganze technologische bis hin zu gesellschaftlichen Entwicklungen hervorgegangen sind. In letzter Zeit betrifft dies besonders die Informations- und Kommunikationstechnologie. Weiter zurückliegend sind Beispiele die Entwicklung der Elektrotechnik, sowohl die Stark- als auch die Schwachstromtechnik, und auch die chemische Industrie, dort insbesondere die organische Chemie betreffend. Auch die Kältetechnik ist ein schönes Beispiel, da hier aus thermodynamischen Überlegungen heraus interessante technische Entwicklungen bis hin zur Tieftemperaturtechnik abgeleitet worden.

Allerdings gibt es auch interessante Beispiele dafür, wie bestimmte technisch-technologische Anforderungen wissenschaftliche Fragestellungen angeregt haben, die letzten Endes zu neuen Fachdisziplinen geführt haben. Ein solches klassisches Beispiel ist die Erfindung der Dampfmaschine, die schließlich den Anstoß für die Entwicklung der Technischen Thermodynamik gab, wie sie 100 Jahre später von Gustav Zeuner konzipiert worden ist. Gerade dieses Beispiel ist wohl der Hintergrund für das Marxwort gewesen, nachdem ein praktisches Bedürfnis der Wissenschaft manchmal mehr hilft als zehn Universitäten.

2 Terminologie

Wie sieht es nun mit diesem Verhältnis in der Energietechnik zu den Zeiten der Energiewende aus? Nüchtern muss man konstatieren, dass dieses Verhältnis zumindest in Deutschland merkwürdig, wenn nicht unzureichend ausgeprägt ist. Das lässt sich ableiten aus dem Vokabular, das zur Kennzeichnung von Entwicklungstendenzen, die notwendig erscheinen, verwendet wird. So ist der Gebrauch unscharfer Begriffe nicht gefährlich, wenn trotz des Begriffes darunter der richtige physikalische Gegenstand verstanden wird.

Das ist z.B. der Fall bei dem Begriff Kraft. Mindestens seit Hermann von Helmholtz, also vor reichlich 150 Jahren, wissen wir, dass darunter eigentlich Energie gemeint ist, wenn wir von Kraftstoff, Kraftwerk u.ä. sprechen, und nicht von dem physikalischen Begriff Kraft, der ja physikalisch als Masse mal Beschleunigung definiert ist. Energie äußert sich manchmal als Kraft, ist aber sehr viel weitreichender. Ein solches Informationsdefizit scheint aber m.E. in der derzeitigen Situation und Diskussion nicht gegeben zu sein.

Nehmen wir den Begriff „erneuerbare Energien“. Dieser Begriff ist physikalisch unsauber. Energie ist eine Erhaltungsgröße, kann also nicht geschaffen, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Sicher gibt es eine große Anzahl von unterschiedlichen Energiequellen in der Natur, die für unsere energetischen Bedürfnisse eingesetzt werden können. Ich habe prinzipiell zwischen Vermögens- und Einkommensenergien unterschieden. *Vermögensenergien* sind durch solche Energieträger gegeben, die in zwar großen, aber doch letztendlich endlichen Umfang in entsprechenden Lagerstätten oder Herkunftsmöglichkeiten auf der Erde zur Verfügung stehen. Ihre Ausbeute, d.h. der Umfang der von der Gesellschaft in Anspruch genommenen jeweiligen Menge, hängt von der Intensität der Gesellschaft selbst ab. Die *Einkommensenergien* stehen zwar in einer für die menschliche Gesellschaft beliebig langen Zeit zur Verfügung. Ihr Leistungsumfang ist aber naturgesetzlich begrenzt. Auf dem Planeten Erde gehen sie letztendlich auf die Sonnenenergie zurück, die uns an der äußeren Erdatmosphäre mit ca. $1,4 \text{ kW/m}^2$ zur Verfügung steht. Auf der Erdoberfläche ist es entsprechend weniger. Das ist technisch ein sehr geringer Wert, wenn dieser Wert mit Größen in unseren üblichen technischen Anlagen verglichen wird, die bis zu zehntausendmal größer sein können. Er lässt von vornherein erwarten, dass die Ausnutzung dieser Energien einen sehr viel größeren Apparate- und Anlagenaufwand erfordern wird als in unseren konventionellen Ausrüstungen.

Warum wird ein solcher Begriff verwendet, der doch in falscher Weise in Richtung eines perpetuum mobile führt? Man will wohl darauf verweisen, dass diese Rohenergie in der ursprünglichen Form kostenlos zur Verfügung steht und in für menschliche Dimensionen beliebig langen Zeiten, und damit für die Menschen unerschöpflich. Das ist aber nur die eine Seite dieser Energiequellen. Die andere Seite sind die zu erwartenden, für bisher übliche technische Dimensionen sehr großen technischen Aufwendungen und das durch die Tages- und Jahreszeiten sowie die stochastischen Wetter-

einflüsse zeitlich schwankende Angebot der Einkommensenergien, die weitere zusätzliche apparative Aufwendungen zur Bereitstellung einer gleichmäßigen Versorgung der menschlichen Gesellschaft erfordern werden. Das ist alles absehbar, aber soll offensichtlich nicht vordergründig angesprochen werden.

Hier soll der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Rohenergiequellen auf der Grundlage des Platzbedarfes erfolgen, der für eine Leistungseinheit mit der jeweiligen Technologie erforderlich oder gegeben ist. Daraus ist eine erste qualitative Einschätzung der erforderlichen Apparate- und Anlagentechnik möglich, die zur Bereitstellung einer bestimmten Leistung einzusetzen ist.

Zunächst für die Vermögensenergien: Für einen Braunkohlentagebau haben wir aus der insgesamt geförderten Menge und der in Anspruch genommenen Fläche versucht, eine Größenordnung abzuschätzen. Das ergibt ca. 2.400 W/m^2 . Für Wärmekraftwerke ergibt sich in der Größenordnung $(3-4) \times 10^3 \text{ W/m}^2$. Zum weiteren Vergleich können noch 10^3 bis 10^4 kW/m^2 für energieintensive Apparate angegeben werden. Diese Zahlen charakterisieren die konventionelle Technik.

Für die Einkommensenergien ist primär die sogenannte Solarkonstante interessant. Dies ist der Wert an der äußeren Erdatmosphäre. Auf der Erdoberfläche kann man im Durchschnitt mit etwa einem Zehntel der Solarkonstante rechnen. Die durch die Photosynthese erzeugte Bioproduktion lässt sich durch $0,65 \text{ W/m}^2$ kennzeichnen. Er gilt gleichermaßen für die freie Natur wie für die Landwirtschaft. Ein Solarkraftwerk mit Nachführung der Module und bezogen auf die Peakleistung ergibt in der Größenordnung 25 W/m^2 .

Wir sehen, man bewegt sich bei der Ausnutzung der Einkommensenergien in gänzlich anderen Größenordnungen im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung. Daraus lässt sich zunächst der Schluss ziehen, dass zur Gewinnung von Einkommensenergien ein um mehrere Größenordnungen höherer Apparate- und Anlagenaufwand erforderlich ist.

Ein weiteres Beispiel für eine unscharfe und damit einseitige Information ist die Angabe der Leistungsfähigkeit von modernen Energiebereitstellungen. Dazu wird im Allgemeinen die Anzahl von Wohnungen benutzt, die mit der betrachteten Anlage versorgt werden können. Dabei wird nicht unterschieden, ob es sich um die Jahresarbeit handelt, die bereitzustellen ist, oder um die erforderliche Leistung. Häufig wird es sich wohl stillschweigend um die erforderliche Jahresarbeit für die Versorgung einer drei- oder vierköpfigen Familie handeln. Wir haben vor einigen Jahren die Versor-

ungsstruktur von Städten und Landgebieten untersucht. Das Ergebnis ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Versorgungsstrukturen

	Ballungsraum – Verwaltungs- großstadt	Ballungsraum – Industrie- großstadt	Mischraum – ländlich mit Zentren	ländlicher Raum
konkretes Beispiel	Düsseldorf	Duisburg	Versorgungs- gebiet Wesel	Spree-Neiße- Kreis
charakteristische Daten				
Fläche in km ²	220	220	560	1.650
Einwohner in 1.000	600	500	250	150
Einwohnerdichte in Einwohner/km ²	2.700	2.300	450	90
Endenergiever- brauch in MW	2.050	8.550	850	300
spezifischer End- energieverbrauch in kW/Einwohner	3,4	17	3,4	2,0
Endenergiebe- darfsdichte in MW/km ²	9,3	39	1,5	0,18
spezifischer End- energieverbrauch für Haushalte in kW/Einwohner	1,1	0,8	1,3	1,4
Anteile am Endenergieverbrauch in %				
Industrie	30	90	44	11
Haushalte	25	4	29	46
Kleinverbraucher	23	2	5	11
Verkehr	22	5	22	32

Quelle: Fratzscher/Stephan 2000, S. 167

Daraus erkennt man, dass der Verbrauch für die Versorgung der Haushalte in allen untersuchten Gebieten in der absoluten Größenordnung etwa gleich ist. Das deutet daraufhin, dass die Ausstattung der Haushalte mit Energieverbrauchern etwa gleich ist, unabhängig davon, ob sie in Stadtgebieten oder in ländlichen Gegenden liegen. Dagegen ist der Anteil des Energiever-

brauches der Haushalte am Gesamtverbrauch sehr unterschiedlich und natürlich in industriellen Gebieten nahezu marginal (4%). Die Industrie ist aber die Grundlage für eine entwickelte Gesellschaft, auf deren Produkte kann und soll nicht verzichtet werden. Sie ist nicht nur Grundlage des Wohlstandes der Gesellschaft, sondern, wie es sich gerade auch in der jüngsten Zeit gezeigt hat, auch Stabilitätsfaktor in Krisenzeiten. Die Angabe der Versorgungsmöglichkeiten von Haushalten zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit von modernen Energieversorgungsanlagen hat für die Energiebilanz eines Industriestaates kaum oder nur wenig Aussagekraft.

Auch der Umgang mit dem Begriff „Umgebungsenergie“ oder auch „Umgebungswärme“ in der Diskussion um notwendige technische Entwicklungen zur Energiewende ist höchst unscharf, wenn nicht gar falsch. Das zeigt sich z.B. bei der Diskussion um die Wärmekraftkopplung oder, wie heute gesagt wird, Kraftwärmekopplung (KWK). Hierbei wird darauf hingewiesen, dass in dieser Schaltung die Abwärme von Wärmekraftanlagen nutzbar gemacht wird und so ein Gesamtwirkungsgrad in der Größenordnung von 80 bis 90% erreicht werden kann gegenüber den Wirkungsgraden von Wärmekraftanlagen, die ausschließlich der Bereitstellung von Arbeit dienen und damit Werte von 30 bis 40% aufweisen. Aus diesem Grund wird eine solche Maßnahme durch das EEG entsprechend subventioniert.

Ganz so einfach ist dieser Sachverhalt aus der Sicht der Technischen Thermodynamik aber nicht. Die gekoppelte Erzeugung von Kraft und Wärme, oder genauer von mechanischer Energie und Wärmeenergie, ist vordergründig seinerzeit in Chemiebetrieben entstanden in Gestalt der Industriekraftwerke. In der Chemieindustrie liegt zunächst, verursacht durch die Reaktionsbedingungen der Stoffwandlungen, gewöhnlich ein großer Bedarf an Wärmeenergie vor. Der wurde früher durch Industrieöfen gedeckt, die unmittelbar oder mittelbar über Wärmeträgermedien die erforderliche Wärmeenergie aus fossilen Brennstoffen bereitgestellt haben. Das ist thermodynamisch ungünstig, da bei dieser Energieumwandlung aus thermodynamisch hochwertiger Brennstoffenergie nur Energie mit einem Niveau von wenigen hundert Grad bereitgestellt wird. Wenn man unter Benutzung der Aussagen des II. Hauptsatzes der Thermodynamik diese Abwertung der Qualität der Energie quantifiziert, erhält man Wirkungsgrade, die in der Größenordnung von 10 bis 15% liegen. Das liegt an den großen Nichtumkehrbarkeiten, die durch die Verbrennung und vor allem durch die Wärmeübertragung verursacht sind.

Es ist thermodynamisch wesentlich günstiger, wenn die Wärmebereitstellung aus einem Industriekraftwerk heraus erfolgt. Durch Dampfenahme mittels Gegendruck- oder Entnahmekondensationsmaschinen kann Wärme bei den erforderlichen Temperaturen bereitgestellt werden. Hierdurch werden die großen Abwertungsverluste bei der direkten oder indirekten Wärmeerzeugung durch Industrieöfen vermieden. Der Wärmeentnahme aus dem Industriekraftwerk ist ein Dampfkraftprozess vorgeschaltet, der aus der Brennstoffenergie über die Verbrennung Wärme zugeführt erhält. Damit kann neben der Wärme aus dem Industriekraftwerk auch noch mechanische oder elektrische Arbeit bereitgestellt werden, wofür es im Chemiebetrieb durch die vielen Pumpen und Verdichter sowie die mechanischen Grundoperationen auch hinreichend viele Verbraucher gibt.

Man muss sich aber bei einer solchen Lösung darüber im Klaren sein, dass bei dieser Wärmekraftkopplung, wie man früher sagte, durch die Wärmeauskopplung auf einen bestimmten Betrag an Arbeitserzeugung verzichtet wird. Wenn man aus Wärme Arbeit erzeugen will, so hat Sadi Carnot gezeigt, ist man an die Durchführung von Kreisprozessen gebunden. Der maximale Betrag an Arbeit wird dann erreicht, wenn die Wärmeabgabe bei diesem Kreisprozess bei Umgebungstemperatur erfolgt. Denn Wärme von Umgebungstemperatur hat keinen qualitativen Wert, sie ist nur mit einem *perpetuum mobile II. Art* umzuwandeln. Da bei der Wärmeauskopplung im Industriekraftwerk die Wärmeabgabe bei höherer als der Umgebungstemperatur erfolgt, vermindert sich in diesem Maße die mögliche Arbeitsabgabe.

Das Prinzip ist später auch in der öffentlichen Energieversorgung angewandt worden und dient über entsprechende Transporteinrichtungen als Fernwärme der allgemeinen Wärmeversorgung. Dabei trägt es noch wesentlicher zur Verminderung der Nichtumkehrbarkeiten bei als bei Industriekraftwerken, da letzten Endes die Wohnraumheizung nur der Bereitstellung von Wärme bei ca. 20°C dient. Der Nutzen der Kraftwärmekopplung, wie man heute sagt, besteht bei Dampfkraftwerken mit der gekoppelten Bereitstellung von Arbeit und Wärme in der Verminderung der Nichtumkehrbarkeiten bei der Wärmebereitstellung. Dem steht aber ein Verzicht auf mögliche Arbeitserzeugung gegenüber.

Deshalb ist es grundfalsch, wenn die Wärmeschwaden, die aus den Kühltürmen von Kraftwerken austreten, bildlich in der Öffentlichkeit als Ausdruck der Energieverluste dargestellt werden. Sie sind nichts anderes als Wassertropfen mit Umgebungstemperatur. Davon kann man sich überzeugen, wenn man in das herabrieselnde Wasser in den Kühlturm hineingreift.

Grundsätzlich anders ist die thermodynamische Situation bei Blockheizkraftwerken, die im Allgemeinen mit Verbrennungsmaschinen arbeiten. Bei diesen Prozessen wird durch die Art der Prozessführung Abwärme bei höherer Temperatur als der Umgebungstemperatur zur Verfügung gestellt, da bei diesen Prozessen die Wärmeabgabe gewöhnlich isobar und nicht isotherm, wie bei Wärmekraftwerken, erfolgt. Eine Auskopplung und Nutzung dieser Wärme bedeutet tatsächlich eine zusätzliche Energienutzung ohne Einbuße der möglichen Arbeitserzeugung. Hierfür ist die Bezeichnung Kraftwärmekopplung richtig und damit auch die möglichen ökonomischen Konsequenzen.

In ähnlicher Weise wird, zumindest unvollständig, mit dem Begriff „Umweltenergie“ in Verbindung mit dem Einsatz von Wärmepumpen umgegangen. Die Bezeichnung Wärmepumpe ist selbst schon unglücklich. Natürlich wird mit einer solchen Einrichtung Wärme entgegen dem natürlichen Temperaturgefälle transportiert, und eine solche Maßnahme besitzt eine gewisse Analogie zum Hochpumpen von Flüssigkeiten. Von der Seite der Energiewandlung her kann mit dieser Einrichtung aber mechanische Arbeit im Grenzfall reversibel in Wärme umgewandelt werden. Dazu muss nach dem Entropiegesetz außer der Arbeitszufuhr eine Wärmeaufnahme bei niedriger Temperatur erfolgen und ein sogenannter linksläufiger Kreisprozess, oder allgemeiner Synproportionierungsprozess, durchgeführt werden. Wenn die Wärmeaufnahme bei Umgebungstemperatur erfolgt, hat diese Wärme keinen qualitativen Wert, und die Arbeit findet sich im Grenzfall vollständig in der Qualitätserhöhung der abgegebenen Wärme wieder.

Da völlig zu Recht die Bedeutung der Wärmepumpe insbesondere mit der Wärmeversorgung von Wohnräumen zunimmt, muss schon aus quantitativer Sicht bei der Festlegung ökonomischer Konsequenzen, z.B. im Vergleich zu konventionellen Heizungen, von derartigen Grundlagen ausgegangen werden. Diesem Sachverhalt wird z.B. in der Schweiz Rechnung getragen, und es sind schon 80 bis 90% der Neubauten mit Wärmepumpen ausgerüstet. Die zum Betrieb der Wärmepumpen erforderliche mechanische oder letztendlich elektrische Energie wird in Wärmekraftwerken erzeugt. Deshalb ist ein Vergleich der Beheizung von Wohnräumen mit Wärmepumpen mit der Wärmebereitstellung durch Fernheizungen aus einer Wärmekraftkopplung sinnvoll. Daraus erkennt man, dass die Wärmepumpenheizung der Wärmeauskopplung aus Kraftwerken im Grenzfall gleichgesetzt werden kann, da die Wärmekraftwerke für den Wärmepumpeneinsatz die Wärmeabgabe bei Umgebungstemperatur realisieren können. Ob aber die derzeiti-

gen Förderinstrumente unter diesem Aspekt sich in ein sinnvolles Ganzes einordnen lassen, ist mindestens einer tieferen Untersuchung wert.

Auch mit dem Einsatz von Ergebnissen der Mikrosystemtechnik sind in der Diskussion unscharfe Begriffe im Umlauf, die mit der Umgebung zusammenhängen. Es ist möglich geworden, Minikraftwerke zu entwickeln, die in der Lage sind, dezentrale Energieverbraucher, wie z.B. Herzschrittmacher oder auch beleuchtete Anzeigen, mit dem erforderlichen Stromverbrauch zu versorgen. Das hat den Vorteil, Batterien einzusparen oder bei technischen Anlagen eine Kabelvernetzung. In diesem Zusammenhang wird in der Öffentlichkeit von der Nutzung von Umgebungsenergie gesprochen. Das ist aber fast Unsinn, denn eine solche Einrichtung wäre dann ein *perpetuum mobile* II. Art. Richtigerweise müsste man von der Ausnutzung von Potenzialgefällen sprechen, die z.B. durch Temperaturgradienten oder Konzentrationsdifferenzen gegeben sind.

Die Umgebung ist tatsächlich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht. Es liegen überall Potenzialgefälle aller Art vor, die mit Mikrosystemen für Energieumwandlungen genutzt werden können. Insbesondere die Bereitstellung von geordneter Energie als mechanische oder elektrische Energie kann für lokale und damit dezentrale Verbraucher gegenüber anderen Versorgungsmöglichkeiten Bedeutung haben. Damit können auch tages- und jahreszeitliche Schwankungen der entsprechenden Potenzialgefälle nachvollzogen werden.

Aufgaben dieser Art unterscheiden sich von grundsätzlichen Untersuchungen allgemeiner energetischer Probleme. Bei diesen ist es zweckmäßig, von einem gehemmtten Gleichgewicht in der Umgebung auszugehen, um auf diese Weise einen thermodynamischen Bezugspunkt zu definieren. Aber auch in solchen Zusammenhängen kann es notwendig sein, z.B. zwischen Sommer- und Winterbetrieb für eine sinnvolle Beschreibung von Klimaanlage zu unterscheiden.

3 Leistungs- und Arbeitsangebote

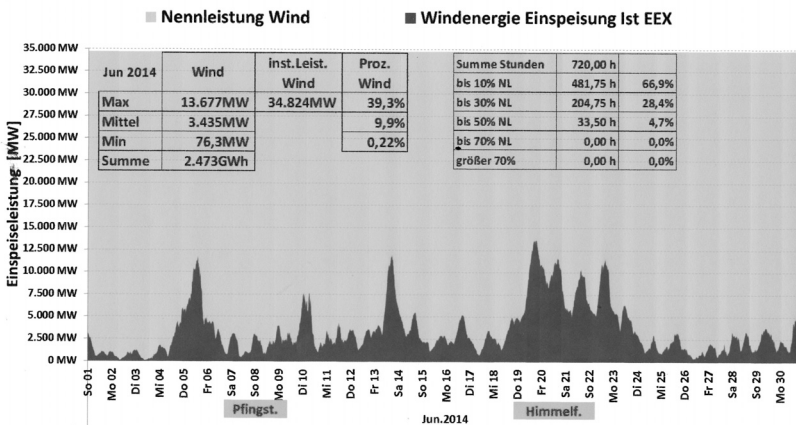
Es muss nochmals auf das Leistungs- und Arbeitsangebot der Einkommensenergien eingegangen werden. Auf die um Größenordnungen höheren Apparat- und Anlageaufwendungen, die erforderlich sind, um vergleichbare Leistungs- und Arbeitsangebote zu den konventionellen Energieumwandlungsanlagen erreichen zu können, war schon hingewiesen worden. Hinzu kommen noch das schwankende Angebot infolge der tages- und jahreszeitlichen periodischen Schwankungen und der stochastische Einfluss des Wetters.

Bei Nutzung der direkten Sonnenstrahlung ist man zunächst an den Tag-Nacht-Zyklus gebunden und außerdem an das Wetter, das durch die Wolkenbildung natürlich großen Einfluss auf die Energieaufnahme hat. Deshalb setzt man häufig größere Erwartungen auf die Nutzung der Windenergie. Derzeitig sind in Deutschland schon mehr als 38 GW an Windleistung installiert. Das Minimum, das in den letzten Monaten angeboten werden konnte, waren aber 24 MW, das sind 0,068% der installierten Leistung. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes sind in den Abbildungen 1 und 2 neben der installierten Leistung das tatsächliche Leistungsangebot für den Monat Juni 2014 dargestellt.

Die Ausnutzung mit Offshore-Windkraftanlagen verspricht ein spezifisch höheres und gleichmäßigeres Angebot. Die Erfahrungen mit dem Aufbau derartiger Windparks zeigen, dass die anlagentechnischen Aufwendungen und die Anforderungen an die Wartung und Instandhaltung die Ausnutzung dieser Energiequelle gegenüber den Windkraftanlagen an Land wieder um Größenordnungen erhöhen. In der Reform des EEG-Gesetzes sind jüngstens deshalb die Zielstellungen für den Ausbau der Offshore-Windkraftanlagen wesentlich eingeschränkt worden.

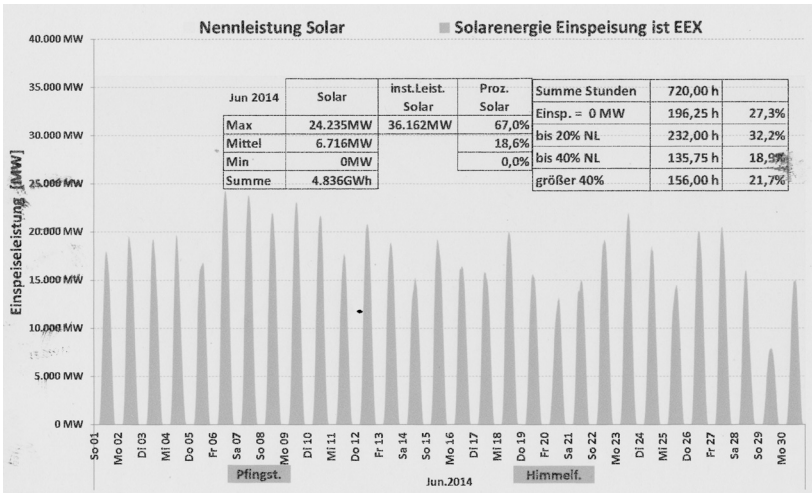
Das stark schwankende Angebot der Sonnen- und Windkraftwerke hat eine Regelfahrweise der konventionellen Wärmekraftwerke zur Folge und

Abbildung 1: Leistungsdaten Wind Juli 2014



Quelle: Alt 2014

Abbildung 2: Leistungsdaten Sonne Juli 2014



Quelle: Alt 2014¹

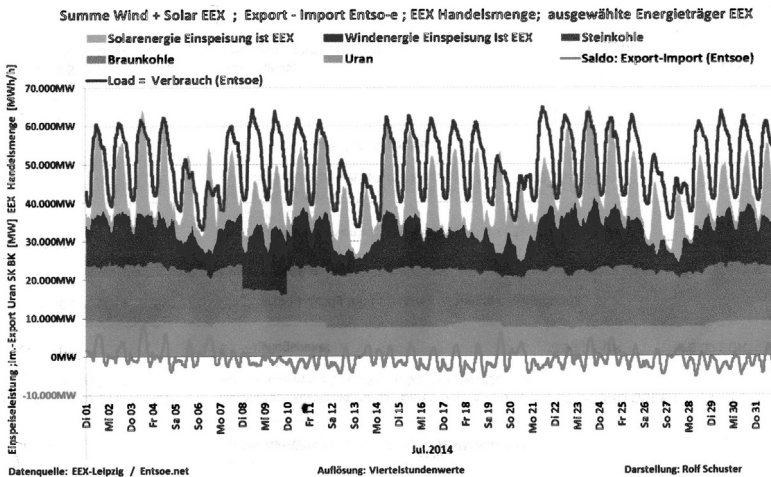
führt so zu einer Verminderung der Netzstabilität. So muss der Netzoperator heute bereits mehr als 1.000 Mal jährlich in den Netzbetrieb eingreifen gegenüber fünfmal in der Vorwendezeit. Die Schwankungen im Versorgungsnetz haben dann weiter zur Folge, dass z.B. aufgrund der Kostenstruktur oftmals die modernen Gaskraftwerke gegenüber Stein- und vor allem Braunkohlekraftwerken unwirtschaftlich werden. Sie werden dann entsprechend weniger in das Netz einspeisen (siehe Abbildung 3).

Man erhofft sich durch den Einsatz von Speichern einen Ausgleich des schwankenden Angebotes zu erreichen.

Das Problem des zeitlichen Ausgleichs zwischen Energieangebot und -verbrauch ist nicht erst heute mit dem Einsatz von Wind und Sonne als Primärenergien entstanden. Vielmehr stellte es sich schon in der Frühzeit der Energietechnik in Verbindung mit Einzelkraftwerken im Inselbetrieb. In dieser Situation standen sich die zu versorgenden Verbraucher, die ein ausgeprägtes Tagesprofil im Verbrauch aufwiesen, dem nach Möglichkeit kontinuierlich zu betreibenden Kraftwerk gegenüber. Das Verbraucherprofil war

1 <http://www.pro-liepnitzwald.de/downloads/Lastganglinien/Hilfsb%2020208%20Leistungsang%20Juli%202014-alle.pdf>.

Abbildung 3: Verbrauchsdeckung Strom Juli 2014



Quelle: Alt 2014²

durch ein Minimum in der Nachtzeit und Spitzenverbräuchen morgens, abends und eventuell auch mittags gekennzeichnet. Vom Kraftwerk her war man bestrebt, den ganzen Tag über mit gleicher Leistung zu arbeiten, da Abweichungen von diesem Zustand stets mit Wirkungsgradeinbußen verbunden waren. Eine optimale Lösung fand man in den zwanziger Jahren mit dem Einsatz von Pumpspeicherwerken. Klassisches Beispiel ist Niederwartha bei Dresden. Mit diesem Kraftwerk konnte der überschüssige Nachtstrom dazu dienen, das Oberbecken zu füllen. Zu den Spitzenzeiten wurde dann durch den Abfluss aus dem Oberbecken zusätzlich Leistung zur Verfügung gestellt. Das Inselkraftwerk konnte unter diesen Bedingungen kontinuierlich mit konstanter Leistung gefahren werden. Auf dieser Grundlage war es möglich, für den Nachtstrom einen preiswerteren Tarif zu berechnen und für den Spitzenstrom einen zusätzlichen Aufschlag zu gewähren. Diese ökonomischen Möglichkeiten resultieren aus dem Gewinn, der vom Kraftwerk erzielt werden konnte durch den kontinuierlichen Betrieb gegenüber dem periodischen oder gar Aussetzer-Betrieb. Auf diese Weise konnte das Pumpspeicherwerk, obwohl es durch die zweimalige Umwandlung von mechani-

2 <http://www.pro-liepnitzwald.de/downloads/Lastganglinien/Hilfsb%202008%20Leistungsganglinie%20Juli%202014-alle.pdf>.

scher und elektrischer Energie echte Energieverluste aufwies, einen ökonomischen Gewinn erzielen. Das Pumpspeicherwerk ist damit faktisch eine Art ökonomisches *perpetuum mobile*.

Abgesehen davon, dass es sich heute um ganz andere Größenordnungen handeln würde, die gespeichert werden müssten, und abgesehen davon, dass bestimmte geologische Gegebenheiten vorliegen müssen, kann heute wegen des ungleichen stochastischen Angebotes, insbesondere der Windleistung, ein Pumpspeicherwerk nicht unmittelbar ökonomisch betrieben werden. Aufgrund des stochastischen Charakters des Energieangebotes und der Festlegung der Energiepreise durch Markt und Börse ist ein wirtschaftlicher Betrieb von Pumpspeicherwerken nicht unmittelbar möglich.

Als eine wirksame Maßnahme zum Ausgleich eines zeitlich schwankenden Angebotes und Verbrauchs hat sich unter DDR-Bedingungen der Einsatz regelbarer Verbraucher erwiesen. Das klassische Beispiel war der Karbidprozess. Der Karbidprozess ist ein elektrothermisches Verfahren, wobei die Stoffumwandlung in sogenannten Reaktionsöfen stattfindet, die elektrische Leistungen z.B. von 40 MW und mehr aufweisen können. Aufgrund der Konstruktion dieser Öfen ist es ohne weiteres möglich, diese Öfen kurzfristig abzuschalten, sie auch eine längere Zeit warm zu halten und sie ebenso kurzfristig wieder anzufahren. Mit der Abschaltung von zwei bis drei Öfen dieser Größenordnung steht der Lastverteilung so eine Leistung zur Verfügung, die dem Elektroenergieverbrauch einer Großstadt entspricht.

Der Einsatz derartiger Verbraucher stellt somit ein außerordentlich leistungsfähiges Instrument für den Ausgleich zwischen Energieangebot und -verbrauch dar. Das gilt auch für andere elektrochemische Verfahren. Auch plasmachemische Prozesse können sich prinzipiell für eine solche Fahrweise eignen. Wie bei den Speichern kann man auch den regelbaren Verbraucher ökonomisch belohnen.

Derartige Regelmechanismen könnten theoretisch auch für den Ausgleich bei dem stochastischen und periodischen Anfall von Wind- und Sonnenenergie einerseits und dem Verbraucherprofil andererseits eingesetzt werden. Darüber hat man in Verbindung mit der Energiewende nachgedacht (vgl. Flörken/Täumel 2013). Allerdings nennt man heute den Regelmechanismus nicht mehr regelbare Verbraucher sondern AbLa – abschaltbare Verbraucher. Man unterscheidet SOL – sofort abschaltbare Leistungen – und SNL – schnell abschaltbare Leistungen. Die SOL dienen der Frequenzstabilisierung, die SNL tatsächlich dem Lastenausgleich. Damit entsprechen die SNL den regelbaren Verbrauchern. Die Regelleistungen werden über den Markt

monatlich ausgeschrieben und der Anbieter hat die Wahl zwischen einem Niedrig- und einem Hochtarif sowie zwischen positiver und negativer Regelleistung. Die ersten rechnerischen Erfahrungen mit diesem Modell waren negativ. Aufgrund der Börsensituation erwies sich stets die Regelung des Kraftwerkes als die ökonomisch günstigste Lösung. Eine technisch machbare und ökonomisch tragbare Lösung des Problems des zeitlichen Ausgleiches des schwankenden Angebotes der Einkommensenergien ist somit derzeit nicht absehbar.

4 Glaubensgesellschaft

Nach diesen Bemerkungen zu einigen theoretischen Problemen der Energiewende scheinen noch einige Anmerkungen zur Wissenschaftsgesellschaft notwendig zu sein. Die Grundidee der Wissenschaftsgesellschaft leitete sich offensichtlich aus dem Prozess der Aufklärung ab, nach dem zum Erkennen der Welt das Wissen gegen dem Glauben, im Gegensatz zu den vorausgegangenen Gesellschaftsordnungen, gesetzt wurde. Aber gilt das heute noch so absolut und insbesondere in Verbindung mit den Diskussionen um die Energiewende?

Wie auch schon die dargestellten Zusammenhänge zeigen, scheint diese Aussage nur eingeschränkt zu gelten. Die Grenzen des Wissens gegenüber bestimmten Meinungen, Vermutungen und eben hin zum Glauben werden fließend. Das hat Dieter Simon veranlasst, auf dem Philosophiekongress „Die Zukunft des Wissens“ 1999 einen Beitrag mit dem Titel „Die Glaubensgesellschaft“ zu publizieren (vgl. Simon 2000). Diesen Begriff untermauert er mit fünf Aspekten:

- (1) Das Wissen hat insbesondere in der letzten Zeit so zugenommen, dass es nicht mehr von Einzelnen überblickt werden kann. Das lässt sich durch viele Fakten belegen, z.B. die Anzahl der Publikationen, die Zunahme der Computerwelt u.v.a.m. Das alles ist nicht mehr zu übersehen. Statt zu wissen, muss man glauben. Simon sagt: Die Vervielfältigung des Wissens hat den Glauben potenziert.
- (2) Das Wissen ist unsichtbar geworden. Die Abstraktion ersetzt die Anschauung, oder allgemeiner: das Modell ersetzt die Realität. Das gilt für die Elementarteilchen und Subteilchen wie für die Makroökonomie, nach der unsere Marktwirtschaft funktionieren soll. Wir glauben, weil andere glauben, dass sie ihren Glauben jederzeit in Wissen überführen könn(t)en.

- (3) Das Wissen ist suspekt geworden. Es lassen sich z.B. für viele Sachverhalte wissenschaftliche Gutachten der unterschiedlichsten Aussagen erbringen, je nachdem, wie bestimmte Zusammenhänge gewichtet und in allgemeine Dimensionen eingeordnet werden. Simon sagt: Die Bürger lesen *ihre* Zeitung und glauben ihr. Die Zeitung der anderen lesen sie nicht.
- (4) Wissen ist bodenlos. Eine Basis der Wissenschaft war die Wiederholbarkeit der experimentellen, empirischen Zusammenhänge. Dieser Sachverhalt kann zunehmend nicht nachgeprüft werden, da die hierzu erforderlichen Mittel aus den verschiedensten Gründen nicht aufgebracht werden können. Das bedeutet, dass das Ende des Wissens erreicht und der Übergang zum Glauben erfolgen muss. Verschiedene Sachverhalte lassen sich nur statistisch erfassen. Statistiken liefern aber keine Wahrheiten, sondern Wahrscheinlichkeiten. Vages Wissen ist auch Wissen, aber, wie Simon sagt, Wissen ohne Bodenhaftung.
- (5) Das Wissen ist beängstigend geworden. Hierzu lassen sich viele Beispiele anführen. Die Extrapolation aus der Genbeeinflussung, der Organzüchtung, Krankheiten, Fütterungsmethoden der Nutztiere, der Treibhauseffekt usw. lassen schlimme Zukunftsvisionen theoretisch geschlossen beschreiben. Derartige Zukunftsbilder lassen einen Vertrauensverlust in die Wissenschaft entstehen und daraus entsteht Wissenschaftsfeindlichkeit. Katastrophen wie Hiroshima und Chemieunfälle, die zunehmende industrielle Indienstahne von Forschungsergebnissen, die unzureichende Selbstreflexion der Wissenschaftler hat diese Tendenzen verstärkt und damit die Öffentlichkeit vom Wissen zum Glauben geführt.

Alle die von Simon genannten Gesichtspunkte lassen sich auch bei den Diskussionen um die Energiewende finden. Jeder, der die allgemein bekannten Zahlen versteht, müsste eigentlich den sofortigen Stopp des weiteren Ausbaus der sogenannten Erneuerbaren Energien fordern, da diese massiv die Kernziele der Energiewende verfehlen lassen. Die Ziele der Energiewende waren und sind:

- (1) Die Verminderung des Einsatzes der fossilen Brennstoffe, des Einsatzes von Vermögensenergien, da deren Erschöpfung durch die absehbaren Reichweiten der Vorkommen prognostiziert werden konnten.
- (2) Die Verminderung des CO₂-Ausstoßes in die Umgebung, da die Zunahme des Kohlendioxids in der Atmosphäre zu einer Erhöhung der Umgebungstemperatur führen könnte. Der hiermit im Zusammenhang

stehende Klimawandel könnte zu katastrophalen Folgen für die menschliche Gesellschaft führen.

- (3) Der Ausstieg aus der Kernenergie. Durch Hiroshima, durch Tschernobyl, durch Fukushima ist die Gefährlichkeit der Nutzung der Kernenergie mit möglichen Folgen für größere Bevölkerungszahlen drastisch vor Augen geführt worden. Aus Sicherheitsgründen soll deshalb ein Ausstieg angestrebt werden.

Zu (1) ist zu bemerken, dass man sich von dem Argument, aus der absehbaren Erschöpfung der Vermögensenergien zu den Einkommensenergien überzugehen, verabschiedet hat. Die derzeit absehbaren Erweiterungen der vorhandenen Ressourcen verschieben schon jetzt die bisher bekannten Reichweiten dieser Energien. Unter dem Einfluss der Schiefergasvorkommen hat sich z.B. die Energiesituation in den USA qualitativ geändert. Die USA sind auf dem Weg zum Energieexportland. Die Schiefergasvorkommen sollen ungleich größer sein als die bekannten Vorkommen an konventionellem Erdgas. Hinzu kommen noch Vorkommen von Gashydraten in den Weltmeeren. Dabei besaßen die Kohlevorkommen schon immer die größten Reichweiten. Diese Zahlen zeigen insgesamt, dass ein vernünftiger Abbau der Vermögensenergien auch auf eine längere Zeit von dieser Seite möglich erscheint. Deshalb wird dieses Argument in der Diskussion um den Einsatz der sogenannten Erneuerbaren Energien nicht mehr benutzt.

Im Mittelpunkt der Diskussion steht heute dagegen das 2. Argument, nachdem eine steigende Zunahme des CO₂-Anteils in der Atmosphäre zu einer Erhöhung der Umgebungstemperatur führen soll, zu der sogenannten Klimaerwärmung. Die Zunahme der Kohlendioxidkonzentration ist natürlich eine Folge der Verbrennung fossiler Brennstoffe, deren Einsatz mit der Zunahme der Weltbevölkerung und deren auch steigende qualitative energetischen Ansprüche verbunden sind. Damit verbunden wären dramatische Änderungen der Fauna und Flora und durch das Schmelzen der Eisvorräte auf der Erde eine je nach dem Grad der Erwärmung erhebliche Erhöhung des Wasserspiegels der Weltmeere. Das alles zusammen hätte dann auch entsprechende dramatische Auswirkungen auf die Erdbevölkerung. Die quantitativen Änderungen werden auf der Grundlage von Modellrechnungen gemacht. An dieser Stelle setzt die Kritik ein, da der Zusammenhang zwischen dem Kohlendioxidanteil der Atmosphäre und der Umgebungstemperatur experimentell und auch empirisch nicht belegbar ist. Langzeitaussagen z.B. mit Eisbohrkernen haben bisher nicht einen eindeutigen Zusammenhang nachgewiesen. Der Strahlungseinfluss des CO₂, wie auch übrige

gens des H_2O , in einer Gasatmosphäre ist bekannt. So werden schon seit längerer Zeit die Einflüsse dieser beiden Gase auf die Wärmebilanz der Feuerräume von Dampfkesseln quantitativ richtig erfasst zur Auslegung solcher Kessel. Die Schwierigkeit besteht in der Erfassung dieser Einflüsse in der offenen Atmosphäre neben allen anderen Einflüssen auf das Wetter. So kommt die Kritik an den Modellen u.a. aus Meteorologenkreisen, die sich insbesondere an der Art der Diskussionsführung entzündet. Da die Kritiker von den Befürwortern der Modelle als „Klimaskeptiker“ oder „Klimaleugner“ bezeichnet werden, kann man absehen, dass diese Auseinandersetzung im Stile eines Glaubenskrieg geführt wird, ganz im Sinne von Dieter Simon.

Und: Die Art der Auseinandersetzung wird noch verstärkt durch die Tatsache dass die Ziele der Energiewende auf der Grundlage von unscharfen Begriffen und einer unvollständigen Betrachtung begründet werden, wie weiter vorn gezeigt worden ist. Man kann sich deshalb nicht des Eindrucks erwehren, dass bei all diesen Überlegungen nicht auf auf sauberen eindeutigen physikalischen Grundlagen beruhende Aussagen zurückgegriffen wird, um die Zielsetzungen der Energiewende zu quantifizieren. Das erscheint als ein charakteristisches Merkmal einer Glaubens- und nicht als Ausdruck einer Wissenschaftsgesellschaft.

Schließlich (3) der Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie. Gegenüber der Kernenergie gibt es in der Öffentlichkeit große Voreingenommenheit. Das hängt zunächst mit der radioaktiven Strahlung zusammen, für die der Mensch kein direktes Sinnesorgan besitzt. Dabei muss man sich zunächst rational klar sein, dass ein ständiger Strahlungspegel auf der Erde vorhanden ist und der Mensch selbst in seinem Körper eine Strahlungsintensität von 7.000 bis 8.000 Bequerel hat. Dann kommt hinzu, dass beim Auftreten von Kernexplosionen aufgrund der hohen Energiekonzentration bisher große Bevölkerungszahlen betroffen waren. Das haben die militärischen Einsätze in Hiroshima und Nagasaki gezeigt, aber auch die katastrophalen Unfälle in Tschernobyl und Fukushima. Aus diesen Gründen ist die Öffentlichkeit nicht bereit, den Fortschritt in der Entwicklung bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie zur Kenntnis zu nehmen. Das zeigt z.B. das Festhalten an altertümlichen Begriffen aus der Frühzeit der Kerntechnik, wie an der Bezeichnung Atommeiler. Damit bezeichnete man Kernreaktoren, die Plutonium erbrütet haben, um auf diese Weise z.B. zum Bau einer Atombombe zu kommen. In den heutigen Kernreaktoren wird aufgrund der kernphysikalischen Gesetzmäßigkeiten auch Plutonium erzeugt. Das ist aber, wenn es nicht zur Kernspaltung genutzt wird, bestenfalls ein Nebenprodukt,

das zum überwiegenden Teil wegen des derzeitigen Verzichts auf die Wiederaufarbeitung gar nicht gewonnen wird. Das Abschalten der Kernkraftwerke soll den Druck zum Einsatz von Einkommensenergien erhöhen. Wegen der periodischen und stochastischen Energieerzeugung bei den Wind- und Sonnenkraftwerken hat dies trotz der schon heute großen investierten Leistung aber zur Folge, dass die Kohlekraftwerke mehr gefordert werden. Das bedeutet eine Zunahme der CO₂-Abgabe, die man eigentlich vermeiden wollte. Das haben schon jetzt die in Jahresbilanzen publizierten Ergebnisse gezeigt (vgl. Ziesing 2014).

Die Voreingenommenheit gegenüber der Kernenergienutzung entsteht auch aus der Grundauffassung, dass größere Unfälle bis hin zu Katastrophen prinzipiell nicht zu vermeiden sind, wie eben Tschernobyl und Fukushima gezeigt haben. Dazu muss aber festgestellt werden, dass Reaktortypen wie in Tschernobyl aufgrund der geltenden Sicherheitsbestimmungen nicht in anderen Ländern gebaut worden sind und auch nicht gebaut werden. Tschernobyl besaß darüber hinaus kein Containment, ein gas- und druckdichtes Umschließungsbauwerk. Ein solches Bauwerk kann die Umgebung auch vor den Auswirkungen einer Kernschmelze schützen, wie der Unfall von Three-Mile-Island nachgewiesen hat. In der Sowjetunion war damals eine andere Sicherheitsphilosophie gültig, wie die Druckraumbauweise bei den Druckwasserreaktoren noch heute erkennen lässt. Auch ist bei diesen Kraftwerken, obwohl sie nicht nur in der damaligen UdSSR sondern auch in anderen Ländern errichtet worden sind, bisher noch kein größerer Unfall aufgetreten.

Zur Katastrophe von Fukushima, der durch Auslegungsfehler verursacht worden ist, ist festzustellen, dass durch größere Evakuierungsmaßnahmen Todesfälle infolge radioaktiver Strahlung vermieden werden konnten. Evakuierungsmaßnahmen sind aber nicht nur an derartige Unfälle gebunden, sondern können auch in Verbindung mit Naturkatastrophen erforderlich sein. Das war wohl auch der Ausgangspunkt, dass Ortwin Renn in seiner Publikation „Das Risikoparadox“ Naturkatastrophen und technische Katastrophen unter der Überschrift „Zahme Tiger“ einordnet gegenüber anderen Risiken (vgl. Renn 2014).

Das gilt auch, wenn die Endlagerungsproblematik in die Diskussion einbezogen wird. In Deutschland wird der Eindruck erweckt, dass es noch keine Lösung gibt. Das ist zunächst objektiv begründet, weil keine Klarheit darüber besteht, ob eine endgültige Lagerung oder eine Lagerung mit einer zukünftigen Rückholbarkeit angestrebt werden soll. Die abgebrannten Brenn-

elemente, die konzentrierte hohe Radioaktivität enthalten, besitzen noch viele Stoffe, die über eine Wiederaufbereitung einer Nutzung zugeführt werden können. Eine solche Aufbereitung wird noch vereinfacht, wenn an die zunächst theoretisch denkbaren Möglichkeiten der Mutation gedacht wird, die eine Reduzierung des Strahlenpegels ermöglichen könnten. In Finnland wird ein Endlager in Granitformationen gebaut. In Frankreich will man ein Endlager in Bure errichten. Eine endgültige Zustimmung ist allerdings noch nicht erreicht worden.

Zusammenfassend muss man wohl einschätzen, dass der Ausstiegsbeschluss für die Kerntechnik nicht aus den Gründen abgeleitet werden kann, die ursprünglich den Zielen der Energiewende zugrunde gelegt wurden. Die Energiewende kann aus all diesen Gründen nicht als eine wissenschaftliche Zielstellung angesehen werden für die Gestaltung der künftigen Energietechnik, sondern muss letztendlich als eine Glaubensvorgabe aufgefasst werden.

5 Schlussfolgerungen

Die angestellten Überlegungen basieren ausschließlich auf der Benutzung naturwissenschaftlich-technischer Kategorien. Es wurden bewusst keine ökonomischen Kategorien zu Illustration bestimmter Sachverhalte eingesetzt. Ökonomische Kategorien können durch Steuern oder Subventionen den technischen Hintergrund verwischen. Zur Erweiterung der technischen Überlegungen lassen sich auch noch kumulierte Begriffe benutzen. Im vorliegenden Zusammenhang liegt es nahe, den kumulierten Energieaufwand oder den kumulierten Energieverbrauch zu benutzen. Diese Begriffe versuchen, außer der Energiesituation für den Betrieb der betrachteten Systeme zu erfassen, auch noch die Situation in den vorgeschalteten Phasen des Reproduktionsprozesses, wie der Fertigung und Herstellung sowie der Errichtung, und nachgeschalteten Phasen, wie dem Abbau und der Beseitigung, quantitativ zu beschreiben. Damit können dann sogenannte Erntefaktoren und energetische Amortisationszeiten abgeleitet werden. In der vorliegenden Arbeit wurden diese Begriffe nicht angewandt, da sie theoretisch und empirisch nicht einfach zu erfassen sind und deshalb häufig subjektiven Sichtweisen entspringen.

Aus dem hier benutzten Begriffssystem glaube ich, schon hinreichend genug qualitativ richtige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Um richtig verstanden zu werden, ich will nicht das strategische Ziel der aus vielen Gründen notwendigen zukünftigen Zunahme der Ausbeutung von Einkom-

mensenergien infrage stellen. Ich möchte nur die Art und Weise der derzeitigen Diskussionsführung kritisieren, die zu extremistischen Eingriffen in die Energietechnik führt und unnötige ökonomische Belastungen verursacht. In der öffentlichen Diskussion spielt die Stimme der Wissenschaft nicht die erforderliche Rolle. Das ist äußerlich auch auf die unscharfe und unvollständige Terminologie zurück zu führen. Besser als in Deutschland fühlen sich die Wissenschaftler in der Schweiz in die Politik eingebunden. Das Land plant bekanntermaßen auch den Ausstieg aus der Kernkraftnutzung, hat aber noch keine fixe Roadmap dazu festgelegt.

Einkommens- und Vermögensenergien sind keine gegensätzliche Konkurrenten für die Deckung des ständig steigenden Energiebedarfs auf der Erde, sondern müssen aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften entsprechend der sich ständig verändernden ökonomischen Bedingungen sinnvoll sowohl für den dezentralen als auch für den konzentrierten Verbrauch eingesetzt werden. Ein brachialer, vielleicht aus Glaubenseinstellungen abgeleiteter ökonomischer Eingriff durch Steuern oder Subventionen kann zu technisch und auch physikalisch verursachten Entwicklungsschwierigkeiten führen. Denn jeder Eingriff in die Energiewirtschaft eines Landes führt letzten Endes zu einer irreversiblen Entscheidung für die zukünftige Entwicklung. Dabei kann richtiger Weise von der strategischen Grundeinstellung ausgegangen werden, dass aus der Sicht der fundamentalen Bedeutung der Energie für die menschliche Gesellschaft und ihrem Zivilisationsniveau heute der Preis für die Energie noch immer sehr gering ist.

Literatur

- Alt, H. (2014): Ausgewählte Kapitel aus der Energiewirtschaft – Vorlesungsunterlagen. Aachen (FH)
- Flörken, O.; Täumel, N. (2013): 100 Tage abschaltbare Leistungen – erste Erfahrungen. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, H. 11, S. 38–40
- Fratzcher, W.; Stephan, K. (Hg.) (2000): *Strategien zur Abfallenergieverwertung*. Wiesbaden
- Renn, O. (2014): *Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten*. Frankfurt am Main
- Simon, D. (2000): Die Glaubensgesellschaft. In: Mittelstraß, J. (Hg.): *Die Zukunft des Wissens*. XVIII. Deutscher Kongreß für Philosophie 1999. Berlin, S. 23–33
- Ziesing, H. J. (2014): Steigende CO₂-Emissionen in Deutschland auch im Jahre 2013. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, H. 5, S. 58–67