

Werner Abelshauser

Der Traum von der umweltverträglichen Energie und seine schwierige Verwirklichung

ABSTRACT

The long term view shows how difficult it is to realize the dream of a sustainable energy regime. Almost all the components of an environmentally friendly energy regime experienced their first ascent in the 19th Century. This applies to solar and wind energy as well as to the electric car that even dominated the market for a short period before the First World War – both in Europe and the USA. It was, however, not the renewable energy that followed Peak Coal; and

Peak Oil proved time and again as a *fata morgana*. There are three main obstacles that stood in the way of an environmentally friendly energy regime and which even today prove to be effective: the difficulty in predicting price/cost relations within markets, government intervention (e.g. 'atoms for peace') and the persistent underestimation of the costs of experiential learning and of leading new, environmentally friendly technologies to market maturity.

Keywords: Energy Regime, Renewable Energy, Electro-technical Revolution, Electric Car, Wind Energy, Desertec, Atoms for Peace, Learning by Using
JEL-Codes: N5, N53, N54, N70, O14, O33

Die Schockwirkung prognostizierter Krisen löst in der Regel – nicht anders als reale Krisen auch – zwei Effekte aus, die die wirtschaftlichen Akteure vor große Herausforderungen stellen. Zuerst den „Inspektionseffekt“, der auf uns zukommende Probleme erkennt, beschreibt und den Blick für notwendige technische und wirtschaftspolitische Innovationen schärft. Ihm folgt – wenn auch nicht zwingend – der „Verwerfungseffekt“: Erkannte Zwangslagen führen unter starkem Leidensdruck zu sprunghaften Veränderungen wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Verhältnisse. Die anhaltende Finanzmarktkrise unserer Tage ist dafür ein Beispiel. Sie machte zunächst die Schwäche und Krisenanfälligkeit der Finanzmarktordnung augenfällig und löst nun zu ihrer Überwindung und Prophylaxe weit reichende Veränderungen der Regeln und Strukturen der Finanzmärkte aus – oder auch nicht.

Das vertraute Muster von „Inspektion“ und „Verwerfung“ lässt sich auch auf die Krise des herrschenden Energieregimes anwenden, die von der Erwartung des unmittelbar bevorstehenden „Peak Oil“ und der wachsenden Aversion gegenüber einer unbeherrschbaren Unsicherheit der zivilen Nutzung der Atomenergie erzeugt wird. Ein typisches Kind dieser Krisenstimmung ist die Desertec Industrial Initiative (DII). Sie wurde 2009 auf Betreiben der deutschen Sektion des Club of Rome ins Leben gerufen, um diesen offensichtlichen Herausforderungen der Energieversorgung durch die Analyse und Entwicklung von technischen, ökonomischen, politischen, gesellschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen zur CO₂-freien Energieerzeugung in den Wüsten Nordafrikas Rechnung zu tragen. Sie hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 Sonnenkraftwerke in Nordafrika und ein interkontinentales Stromnetz zu errichten, um die Energieversorgung Nordafrikas und des Mittleren Ostens zu sichern

und 17 v. H. des künftigen EU-Bedarfs zu decken. Dazu hält die Desertec Industrieinitiative bis 2050 private Finanzinvestitionen von 450 Mrd. Euro für nötig.¹ Vor dem „arabischen Frühling“ zählte sie 19 Gesellschafter und 35 assoziierte Mitglieder; heute ist die Zahl der assoziierten Partner auf 17 geschrumpft.² So wirksam der Inspektionseffekt auch ist, der sich in diesem gigantischen Vorhaben niederschlägt, so wenig zwingend sind seine Folgen. Um diese „Unzuverlässigkeit“ des Verwerfungseffekts geht es in dem folgenden Beitrag: in historischer Perspektive und natürlich am Beispiel prognostizierter Energiekrisen.

In diesem Kontext kennen wir den diskursiven Zusammenhang von „Inspektion“ und „Verwerfung“ seit der Frühen Neuzeit. Im 18. Jahrhundert wurden das Ende der Holzwirtschaft vorausgesagt und daran weitgehende „Verwerfungsängste“ geknüpft. Die Diskussion über die mutmaßlichen entwicklungsgeschichtlichen Folgen der „Holznot“ hält bis heute an.³ Ich möchte meine Überlegungen aber mit dem späten 19. Jahrhundert beginnen, als sich im Schatten der industriellen Moderne die wirtschaftlichen Grundlagen unseres nachindustriellen Zeitalters formten und dabei die Rolle der Sonne und anderer erneuerbarer Energien für ein neues, nachindustrielles Energieregime allmählich in den Vordergrund rückte. Die revolutionäre Qualität dieses Umbruchs liegt seitdem nicht allein in der oft diskutierten engen Verbindung von Wirtschaft, (Natur-) Wissenschaft und Technik. Sie schuf auch einen neuen institutionellen Rahmen für Wirtschaft und Gesellschaft und mobilisierte damit ungeahnte Produktivitätsreserven. Dieser nachindustrielle Aufbruch schien eine neue Gesellschaft zu konstituieren, in der das Verhältnis von Produktivkräften und Produktionsverhältnissen eine neue Qualität erreichte. Allerdings drohte der begrenzte Vorrat fossiler Energieträger die Produktivkräfte nachhaltig zu lähmen und so auch den gesellschaftlichen Fortschritt zu behindern. Ein breites, wachsendes Spektrum gesellschaftlicher Kräfte sah daher schon im 19. Jahrhundert in neuen Energiesystemen, die es vorzugsweise in regenerativen Energien und insbesondere in der direkten Nutzung der Sonnenenergie zu erkennen glaubte, einen Hebel zur evolutionären Absicherung des wirtschaftlichen Fortschritts.

Die Sonne als Kraftwerk: Desertec avant la lettre

Es lag nahe, dass sich die größte Hoffnung, die Sonne zur Energiewandlung zu nutzen, zunächst auf die Verhältnisse in Europas subtropischen Kolonien richtete. In Frankreich war es vor allem Augustin Mouchot, der mit seinem Werk „La Chaleur Solaire et ses Applications Industrielles“⁴ für die Anwendung der neuen Technologie in den französischen Territorien Nordafrikas warb: *Desertec avant la lettre*. Mouchot genoß die Protektion Napoleons III., und so war es nicht verwunderlich, dass der Kaiser den für die Nutzung von Sonnenenergie begeisterten Mathematiker und Experimentalphysiker in den staatlichen Werkstätten von

- 1 S. dazu die DII-Studie: Desert Power 2050: Perspectives on a Sustainable Power System for EUMENA. München 2012.
- 2 www.dii-eumena.com (abgerufen am 9.12.2013). 2013 kündigte die namensgebende Desertec Stiftung ihre Mitgliedschaft in der DII auf.
- 3 S. dazu Joachim Radkau: Zur angeblichen Energiekrise des 18. Jahrhunderts. Revisionistische Betrachtungen zur ‚Holznot‘, in: VSWG 73 (1986), S. 1-37; s. auch Margrit Grabas: Krisenbewältigung oder Modernisierungsblokade? Die Rolle des Staates bei der Überwindung des ‚Holzenergiemangels‘ zu Beginn der Industriellen Revolution in Deutschland, in: Jahrbuch für Europäische Verwaltungsgeschichte 7 (1995), S. 43-75; Bernd-Stefan Grewe: Streit um den Wald – ein Ressourcenkonflikt? Das Konfliktfeld Wald in der vorindustriellen Zeit (ca. 1500–1850), in: Geschichte in Wissenschaft und Unterricht 63 (2012), S. 551-566.
- 4 Augustin Bernard Mouchot: La chaleur solaire et ses applications industrielles. Paris 1869.

Meudon, bis heute ein wichtiger Technologiestandort in der süd-westlichen Banlieue von Paris, kräftig unterstützte. Er ließ es sich auch nicht nehmen, persönlich anwesend zu sein, als Mouchot schon 1866 die erste mit Sonnenwärme betriebene Dampfmaschine in Betrieb nahm. Weitere Anwendungen folgten, z. B. ein zusammenklappbarer Solarherd für die algerische Fremdenlegion und eine Pumpe, die 1.800 Liter Wasser pro Stunde fördern konnte.

Auch in Deutschland, dessen Wirtschaft in der Großen Depression von 1873 bis 1896 in eine tiefe Ertragskrise stürzte, fielen derartige technische Visionen auf fruchtbaren Boden. Die wissenschaftliche Einsicht in die prinzipielle Begrenztheit der durch den Menschen nutzbaren Energie, wie sie seit den 1860er Jahren im Zweiten Thermodynamischen Hauptsatz formuliert wurde, und Spekulationen über die Endlichkeit der Kohle- und Erzvorräte, wie sie Max Weber anstellte, verbanden sich zur Vision eines neuen Energiesystems. Werner Sombart widersprach Max Weber, der das Ende der Industrialisierung erreicht sah, „wenn die letzte Tonne Erz mit der letzten Tonne Kohle verhüttet sein wird“.⁵ „Wenn die Sonnenenergien die Kraftquelle werden“, erwarde er allerdings eine Verschiebung der Industriestandorte nach südlicheren Ländern. Der Präsident der renommierten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt ging noch einen Schritt weiter, als er im Hinblick auf den Bau großer Sonnenkraftwerke in der Sahara feststellte: „Sehr große Flächen sind nicht einmal nötig; einige Quadratmeilen in Nordafrika würden [...] für den Bedarf eines Landes, wie das Deutsche Reich, genügen.“⁶

Auch die Sozialisten, die zur Realisierung ihrer gesellschaftlichen Utopie voll auf den wirtschaftlichen Fortschritt setzten, sprangen auf den Wagen der neuen technologischen Möglichkeiten. So propagierte August Bebel seit der Auflage von 1900 seines programmatischen Bestsellers „Die Frau und der Sozialismus“ erneuerbare Energien als künftige Hauptquelle der Stromerzeugung.⁷

„Unter den in Anwendung kommenden motorischen Kräften dürfte die Elektrizität die entscheidende Stelle einnehmen. [...] Die revolutionierende Wirkung dieser gewaltigsten aller Naturkräfte wird die Bande der bürgerlichen Welt nur umso rascher sprengen und dem Sozialismus die Türen öffnen [...]. Die Elektrizität zeichnet sich vor jeder anderen Kraft dadurch aus, daß sie in der Natur im Überfluß vorhanden ist. Unsere Wasserläufe, Ebbe und Flut des Meeres, der Wind, das Sonnenlicht liefern ungezählte Pferdekräfte, sobald wir erst ihre volle und zweckmäßige Ausnützung verstehen. [...] Wenn einst die Kohlenvorräte der Erde erschöpft sind, wenn die Wasserkräfte unserem Bedürfnis nicht mehr genügen, dann werden wir aus jener Quelle [der Sonne, W. A.] alle Energie schöpfen, die notwendig ist, um die Arbeit der Welt zu vollenden. Dann werden die Zentren der Industrie in die glühenden Wüsten der Sahara verlegt werden, und der Wert des Landes wird danach gemessen werden, inwieweit es geeignet ist für die Aufstellung der großen ‚Sonnenstrahlenfallen‘.“

Wie populär solche wissenschaftlich begründeten Einsichten am Ende des 19. Jahrhunderts waren, lässt sich auch an ihrer Anziehungskraft auf die deutsche Science-Fiction-Literatur ablesen. Der Leipziger Pionier dieses Genres, Kurd Laßwitz, beschrieb in seinem Roman „Auf zwei Planeten“⁸ ein *Desertec* kosmischen Ausmaßes: Gewaltige Sonnenkollektoren

5 Werner Sombart: Der Moderne Kapitalismus, Bd. 3/2: Das Wirtschaftsleben im Zeitalter des Hochkapitalismus (1902). Berlin 1955, S. 1010 f.

6 Friedrich Kohlrausch: Die Energie der Arbeit und die Anwendung des elektrischen Stromes. Leipzig 1900, S. 75; s. auch die Prognose des Chemikers und Nobelpreisträgers Wilhelm Ostwald (Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft. Leipzig 1909, S. 47): „Als späteres Ziel des Fortschritts wird [...] die unmittelbare Benutzung der Sonnenenergie anzusehen sein, wobei die Erde mit Apparaten bedeckt sein wird, in denen dies geschieht, und in deren Schatten die Menschen ein bequemerer Dasein führen werden.“

7 August Bebel: Die Frau und der Sozialismus (1879/1900). Frankfurt a. M. 1981, S. 427-430.

8 Kurd Laßwitz: Auf zwei Planeten. Weimar 1897.

auf den Hochebenen des Mars, die von Marsnomaden gewartet werden, sorgen für die technische Überlegenheit der „Martier“, die so in der Lage sind, die Erde zu einem Protektorat ihres Planeten zu machen.

Die elektrotechnische Revolution

In der Technikeuphorie des *fin de siècle* kam der Elektrizität also eine ebenso allumfassende Bedeutung zu wie der Kohle am Ende des 18. Jahrhunderts, und sie konnte sich – wie erwähnt – auch schon auf erste erfolgreiche Experimente stützen, Sonnenlicht in wirtschaftlich verwertbare Energie umzuwandeln. Babels Prognose mutet ja brandaktuell an – auch wenn sie niemand mehr mit der Vollendung des Sozialismus verknüpft. Auf anderen Gebieten der Nutzung erneuerbarer Energien, wie sie etwa mit Hilfe von Wasserkraft und durch die seit der Weltausstellung von Philadelphia 1876 in den USA populären Windräder möglich wurde, war ihre Praxis zu diesem Zeitpunkt sogar schon wesentlich weiter fortgeschritten. Dies alles trug dazu bei, gesellschaftsverändernde Phantasien, wie sie die von Friedrich Engels so genannte „elektrotechnische Revolution“ weckte,⁹ noch zu verstärken. Als der britische Ökonom William Stanley Jevons 1865 – „Peak Coal“ fest im Blick – in einem viel beachteten Werk die „Kohlenfrage“ stellte und für das Jahr 1980 die völlige Erschöpfung der Reserven – und damit das Ende der Industrialisierung – prognostizierte, berief er sich auf ein wirtschaftliches Paradoxon: „Es ist eine völlige Gedankenverwirrung anzunehmen, die effiziente Verwendung von Brennstoffen würde mit einem geringen Verbrauch einhergehen“, notierte er, „das genaue Gegenteil ist der Fall.“¹⁰ Verbesserte Technologien zur effizienteren Nutzung von Kohle reizten Erfinder und Investoren regelrecht an, noch mehr auf deren Verbrauch zu setzen. Was aber Jevons nicht ins Kalkül gezogen hatte, war die Verfügbarkeit alternativer Energiequellen – und das war nicht die Sonnenenergie. Denn schon 1859 stieß in Amerika ein gewisser Edwin L. Drake erstmals mit einer Bohrung auf Erdöl. Es war der Beginn des Aufstiegs der Erdölindustrie, die seit 1865 fest mit den Namen Rockefeller und Standard Oil verbunden war.

An der revolutionären Bedeutung der Elektrizität änderte dies freilich nichts. Schon 1837/38 wurden in Nordamerika und Europa fast gleichzeitig die ersten praxistauglichen Elektromotoren entwickelt. 1866 meldete Werner von Siemens seine Erfindung der Dynamomaschine zum Patent an.¹¹ Mit ihr ließ sich elektrische Energie im großen Maßstab erzeugen, der ihre wirtschaftliche Nutzung möglich machte und zu einer raschen Verbreitung des Elektromotors beitrug. Nicht zuletzt dieser Entwicklung war es geschuldet, dass die Zentralisierung der Wirtschaft in immer größere Agglomerationen gestoppt und die kleine und mittlere Industrie samt dem Handwerk nicht – wie allgemein angenommen – zum Aussterben verurteilt war. Jene historisch gewachsenen regionalen Verbundsysteme, die noch heute das Rückgrat des deutschen Exportmodells bilden, konnten so überleben und mit ihnen eine wirtschaftlich stabile mittlere Gesellschaftsschicht, die noch immer dem gesellschaftspolitischen Ideal der Deutschen entspricht.

9 Wolfgang König: Friedrich Engels und die „elektrotechnische Revolution“. Technikutopie und Technikeuphorie im Sozialismus der 1880er Jahre, in: Technikgeschichte 56 (1989), S. 9-37.

10 William Stanley Jevons: The Coal Question. An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines. London 1865, Kap. VII, § 3.

11 Wilfried Feldenkirchen: Siemens 1918–1945. München 1995, S. 22 ff.

Wohlfeiler Strom nährte aber auch die Hoffnung auf die „Synthetisierung der Welt“ durch die seit den 1860er Jahren neu entstandene Großchemie.¹² Nach dem großen Erfolg der synthetischen Herstellung von Indigo und anderen Naturfarben glaubte die deutsche chemische Industrie über die Fähigkeit zu verfügen, knappe und teure Rohstoffe fast beliebig künstlich herzustellen. Mit der Ammoniak-Synthese aus Luftstickstoff und Wasser, die auf billigen Strom angewiesen ist, verband sich aber auch die Vorstellung, eine industrielle Welt retten zu können, deren Ressourcen offenbar begrenzt waren. Der Aufbruch in die neue Gesellschaft des 20. Jahrhunderts schien aufs Engste mit dem ‚richtigen‘ Energieregime verknüpft.

Elektrotraktion und Windenergie – Absturz nach kühnem Anlauf

Der elektrotechnische Fortschritt schlug sich rasch in zwei Anwendungen nieder, deren Wiederentdeckung heute erneut den Traum von der umweltverträglichen Energie nährt: Elektrotraktion und Windenergiegewinnung. Auf der Pariser Exposition d'Electricité stellte Gustave Trouvé 1881 – also vier bzw. fünf Jahre vor den auf Verbrennungsantrieb mit Zentrilmotor setzenden Pionieren Gottlieb Daimler und Carl Benz – das erste mit elektromechanischem Energiewandler angetriebene Fahrzeug (Tricycle) vor.¹³ Es war mit sechs Blei-Akkus und zwei Elektromotoren ausgestattet und erreichte eine Geschwindigkeit eines guten Pferdefuhrwerks.¹⁴ Das wohl weltweit erste vierrädrige Elektroauto wurde 1888 in der Maschinenfabrik von Andreas Flocken in Coburg gebaut. Bald ließen die Elektromobile ihre Konkurrenten weit hinter sich – auch was die Fahrtgeschwindigkeit angeht. Schneller als jeder Wagen mit Verbrennungsmotor war 1899 der mit einem elektromechanischen Energiewandler ausgestattete *Jamais Contente* des Belgiers Camille Jenatton unterwegs, der als erster Mensch mit 106 km/h das magische Geschwindigkeitslimit überbot. Um diese Zeit gab es in Deutschland schon ca. 30 Firmen, die E-Autos herstellten, und weltweit waren mehr Elektroautos als Autos mit Verbrennungsmotoren auf den Straßen.¹⁵ In den USA betrug dieses Verhältnis im Gesamtrahmen der Mobilität 38 zu 27 v. H., wobei Erstere vorzugsweise im innerstädtischen Verkehr, Letztere für lange Strecken über Land eingesetzt wurden. Innerhalb des gesamten Spektrums lagen dampfgetriebene Straßen- und Schienenfahrzeuge mit 40 v. H. nur noch knapp an der Spitze.¹⁶ Einen ersten technischen Höhepunkt erreichte die Konstruktion des E-Mobils auf der Pariser Weltausstellung von 1900, wo der 25-jährige Ingenieur Ferdinand Porsche für die k.u.k Hofwagenfabrik Jakob Lohner Wien einen Wagen mit vier Radnabenmotoren à 2,5 PS (Lohner-Porsche) präsentierte.¹⁷ Eine Hybridversion (Mixte-Wagen) ließ Porsche zwei Jahre später folgen. Der Benzinmotor ließ sich während der Fahrt nicht nur alternativ, sondern auch zum Laden der Akkus verwenden, wobei der Elektromotor als Dynamomaschine fungierte. Wie bei allen Elektromobilen war nämlich auch die Reichweite des Lohner-Porsche stark eingeschränkt, weil die Kapazität der verwendeten Akkus gering, die Lade-Infrastruktur wenig entwickelt und der Ladevorgang selbst sehr umständlich war.¹⁸ Um die Jahrhundertwende war deshalb die Reichweite von Elektroautos auf durchschnittlich 70 km beschränkt, wenn auch in Einzelfällen Reichweiten bis zu 300 km möglich waren.

12 S. dazu Jeffrey A. Johnson: Die Macht der Synthese, in: Werner Abelshäuser (Hg.): Die BASF. Eine Unternehmensgeschichte. 3. Aufl., München 2007, S. 117-220.

13 Curtis D. Anderson/Judy Anderson: Electric and Hybrid Cars: A History. Jefferson, N.C. 2004.

14 Alexis Clerc: Physique et chimie populaires, Bd. 2. Paris 1881–1883, S. 370 f.

15 Anderson/Anderson: Electric (wie Anm. 13), S. 102 f.

16 Kurt Möser: Die Geschichte des Autos. Frankfurt a. M. 2002, S. 52.

17 Reinhard Osteroth: Ferdinand Porsche: Der Pionier und seine Welt. München 2004, S. 302.

18 Möser: Geschichte (wie Anm. 16), S. 58-63.

Angetrieben wurden die meisten Elektroautos mit Nickel-Ferrum Traktionsbatterien, wie sie insbesondere Thomas A. Edison entwickelt hat. Sie erwiesen sich allerdings als störanfällig, so dass Henry Ford in Detroit zwar seit 1914 ihre Serienherstellung erproben ließ, nach einem Großbrand in der Fertigungshalle die Produktion seines klassischen T-Modells in der elektrisch angetriebenen Version aber aufgab.¹⁹ Die Kosten des Erfahrungslernens erschienen ihm zu hoch, zumal seit 1912 der Markt für Elektroautos im Verhältnis zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zu schrumpfen begann. Die Entwicklungsgeschichte des T-Modells ist noch in anderer Hinsicht bemerkenswert. Es war ursprünglich für den Betrieb mit Ethanol-Kraftstoff konzipiert. Agraralkohol und andere Biokraftstoffe, die – nicht nur in Brasilien – heute wieder eine wachsende Rolle als alleiniger Antrieb oder als Beimischung für Ottokraftstoffe spielen, gerieten aber bald ins wirtschaftliche Abseits. Zu rasch wuchs die Verfügbarkeit der aus Öl gewonnenen Kraftstoffe und zu dramatisch sank deren Preis, so dass auch Ford sein Flaggschiff 1908 voll auf Benzin ausrichtete. Zwei Jahre später begünstigte die Erfindung des Anlassers (Starterbatterie) den Verbrennungsmotor erneut, indem er das lästige Ankurbeln obsolet werden ließ. Nach 1912 fiel das Elektroauto gegenüber der fossilen Konkurrenz weit zurück und verharrte für ein halbes Jahrhundert in wirtschaftlicher und technischer Erstarrung.²⁰ Auch nachdem die Gesetzgebung des 1967 gegründeten *California Air Resources Board* (CARB) das Elektroauto wieder auf die Tagesordnung der Mobilitätsforschung gesetzt und 1990 das *Zero Emission Vehicle* propagiert hatte,²¹ ist es nach wie vor das Akkumulatorenproblem, das seinen erneuten Anlauf bremst. Nickel-Cadmium Akkus mit reversiblen Memory-Effekt, die sich wegen ihrer hohen Ladefähigkeit am besten eignen würden, sind toxisch und daher nur durch Ausnahmeregelungen vom ansonsten in der Europäischen Union geltenden Verbot verschont. Ebenfalls gut geeignete Nickel-Metallhydrid- und Lithium-Ionen-Akkus sind dagegen durch patentrechtliche Sanktionen in ihrer massenhaften Nutzung stark eingeschränkt. Die Wasserstofftechnologie, sei es für konventionelle Motoren, sei es als Brennstoffzellen, wie sie in der Raumfahrt erfolgreich eingesetzt werden, steht – obwohl ihr Prinzip seit zwei Jahrhunderten bekannt ist – noch immer erst am Anfang einer serienmäßigen Verwendung.²²

Ähnlich wie die Entwicklung des Elektroautos nach 1912 kam auch die Nutzung von Windenergiesystemen nach vielversprechendem Auftakt jahrzehntelang nicht über lokale Anwendungen hinaus. Auf der Weltausstellung von Philadelphia (1876) schienen den Windenergiesystemen ein weltweiter Siegeszug gewiss. Tatsächlich fristeten sie aber auf den Farmen des amerikanischen Mittelwestens ein bescheidenes Dasein, ehe sie in den 1970er Jahren wieder ins Gespräch kamen. In Deutschland fiel 1976 unter dem Eindruck der sich abzeichnenden Zuspitzung der Ölpreiskrise die Entscheidung, im Kaiser Wilhelm Koog bei Marne, Schleswig-Holstein, den Prototyp einer Großen Windenergieanlage (Growian) zu errichten.²³ Es zeigte sich aber bald, dass der technisch anspruchsvolle zweiflügelige

19 Michael B. Schiffer: *Taking Charge. The Electric Automobile in America*. Washington/London 1994, S. 153-173. Dieses Problem scheint in Verbindung mit Lithium-Ionen-Akkus noch heute nicht gelöst, wie mehrere Unfälle bei der Entwicklung eines von Tesla Motors unter großem Medienecho präsentierten Luxus-E-Autos (Typ S) zeigen (Süddeutsche Zeitung online vom 7.11.2013 „Brand an Elektroauto. Tesla-Kurs bricht erneut ein“).

20 Ernest H. Wakefield: *History of the Electric Automobile: Battery-Only Powered Cars*, Society of Automotive Engineers. Warrendale, PA 1994, S. 215.

21 Daniel Sperling/Deborah Gordon: *Two Billion Cars. Driving Towards Sustainability*. Oxford 2009, Kap. 7; Anderson/Anderson: *Electric* (wie Anm. 13), S. 72-74.

22 Klaus Hofer: *Elektrotraktion: elektrische Antriebe in Fahrzeuge*. Berlin 2006, S. 38 f.

23 Matthias Heymann: *Die Geschichte der Windenergienutzung 1890–1990*. Frankfurt a. M. 1995, S. 369-382 (insbes. *Das Growian-Projekt*, Kapitel 7.3.3).

Leeläufer mit einer Nabenhöhe von 100 m, den der Technologiekonzern MAN bis 1983 errichtete, mit erheblichen Material- und Konstruktionsproblemen zu kämpfen hatte. Bis zu seiner Stilllegung im Jahre 1985 war er 17 Tage in Betrieb. 1987 wurde er demontiert. Diese Kapitulation hatte aber nicht nur technische Gründe. Es zeigte sich bald, dass die Ölpreiskrise nicht nachhaltig genug war, um die Rentabilität von Windenergieanlagen zu gewährleisten. Erst das Stromeinspeisungsgesetz²⁴, das 1990 gegen erheblichen Widerstand der Energiekonzerne vor dem Hintergrund der deutschen Vereinigung von einer Koalition mittelständischer Betriebe in Süd- und Ostdeutschland durchgesetzt wurde und seit 1991 staatliche Subventionen sicherte, führte – nicht nur im Kaiser Wilhelm Koog – zum Bau zahlreicher, wenn auch kleinerer Anlagen. Es wurde zum Vorläufer des heute genauso umstrittenen Erneuerbare-Energien-Gesetzes.²⁵

Warum der Take off der Solartechnik ausblieb

An der Einsicht in die Notwendigkeit des Übergangs zur Sonnenenergie mangelte es nicht. Thomas Alva Edison war nicht der einzige sachkundige Beobachter, der zur Tat drängte:

„We are like tenant farmers chopping down the fence around our house for fuel when we should be using nature’s inexhaustible sources of energy – sun, wind and tide. [...] I’d put my money on the sun and solar energy. What a source of power! I hope we don’t have to wait until oil and coal run out before we tackle that.“²⁶

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage umso dringender, warum der Durchbruch der Energieumwandlung aus der Sonne so lange auf sich warten lässt. Aus historischer Perspektive sind dafür vor allem drei Gründe verantwortlich.

Der erste liegt in der schwer vorhersehbaren Entwicklung der Preis- und Kostenrelationen auf den Märkten. „Peak Oil“ – für die 1920er Jahre und für die Wende zum 21. Jahrhundert vorhergesagt – erwies sich bisher als Fata Morgana. Zunächst hatte ihn Werner Sombart 1902 in seinem epochalen Werk für die 1920er Jahre vorhergesagt – also „binnen kurzem“.²⁷ Die – wie sich bald zeigen sollte – falsche Prognose hatte erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen. So lag z. B. der absolute Investitionsschwerpunkt der IG-Farbenindustrie in den 1920er Jahren auf der Herstellung synthetischer Treibstoffe, weil hier die Nutzung des technischen Momentums der Synthesechemie mit der lange Zeit unbestrittenen Prognose baldiger Erdölknappheit eine dynamische Verbindung einging. Es gelang auch, die Kosten der Treibstoffsynthese binnen weniger Jahre zu halbieren. Tatsächlich war aber von „Peak Oil“ nichts zu spüren. Im Gegenteil: Seit 1927/28 fielen die Rohölpreise und stürzten schließlich 1930/31 von 1,30 Dollar pro Barrel auf 5 Cent ab. Da half nur noch die Flucht unter den Rettungsschirm staatlicher Subventionen, wollte man nicht den Großteil der Investitionen abschreiben. Unter den Bedingungen von Aufrüstung, Kriegswirtschaft und Wiederaufbau kam es so vorübergehend sogar noch zu einer begrenzten Erfolgsgeschichte – wenn auch mit bitterem Beigeschmack. Dieser Fata Morgana-Effekt wiederholte sich im 20. Jahrhundert

24 Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (StromEinspG) vom 7.12.1990 (BGBl 1990 I, S. 2633), zuletzt geändert durch Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts vom 24.4.1998 (BGBl 1998 I, S. 730, 734).

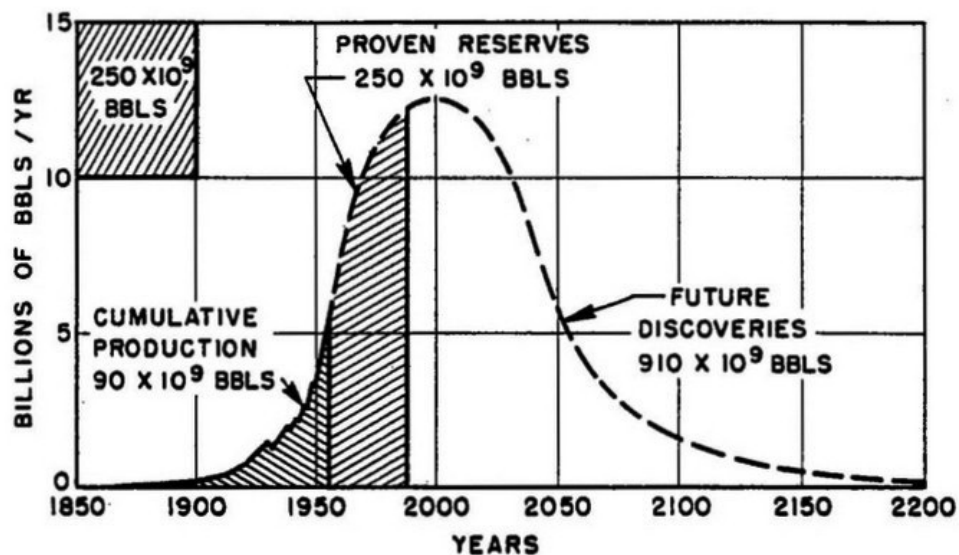
25 Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) vom 29.3.2000 (BGBl 2000 I, S. 305).

26 Im Gespräch mit Henry Ford und Harvey Firestone (1931), zitiert in: James D. Newton: *Uncommon Friends. Life with Thomas Edison, Henry Ford, Harvey Firestone, Alexis Carrel, & Charles Lindbergh.* San Diego 1987, S. 31.

27 Sombart: *Kapitalismus* (wie Anm. 5). S. 1011.

noch zweimal: nach der Suezkrise von 1956 und nach der zweiten Ölpreiskrise von 1979. Auch ein neuer Anlauf, „Peak Oil“ zu bestimmen, den Marion K. Hubbert in den 1950er Jahre für die 1970er Jahre, später dann für die Jahrhundertwende unternahm, scheiterte kläglich (s. Abb. 1). Innovative Erdgas- und Ölgewinnungstechniken (Hydraulic Fracturing – Fracking), die vor allem in den USA angewendet werden, scheinen vielmehr einen weiteren Boom auszulösen.²⁸ Das Ergebnis kennen wir alle: Nicht die Sonnenenergie hat den Primärenergieträger Kohle weitgehend abgelöst, sondern das Erdöl. Und das Erdöl trotzte in dieser Funktion bisher dem Inspektionseffekt, indem es immer wieder aufs Neue seine wirtschaftliche Alternativlosigkeit demonstrierte.

Abbildung 1: Hubbert Peak in Barrels (bbls)/Jahr



Quelle: Marion King Hubbert: Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Shell Development Company, Exploration and Production Research Division, Publication No. 95. Houston 1956, S. 22.

Die zweite Kategorie von Hindernissen liegt auf dem Gebiet der Politik. Politische Intervention stärkte nach 1945 eine neue Alternative zur Solarenergie: *atoms for peace*.²⁹ Dies ist aber nur die halbe Wahrheit. Insbesondere die europäischen Mitglieder des Klubs der Atomwaffenstaaten, wie Großbritannien und Frankreich, sind auf die zivile Nutzung der Kernenergie zwingend angewiesen, um die Kosten der Herstellung und Instandhaltung von Atomwaffen auf viele Schultern zu verteilen und so für ihre Steuerzahler erträglich oder

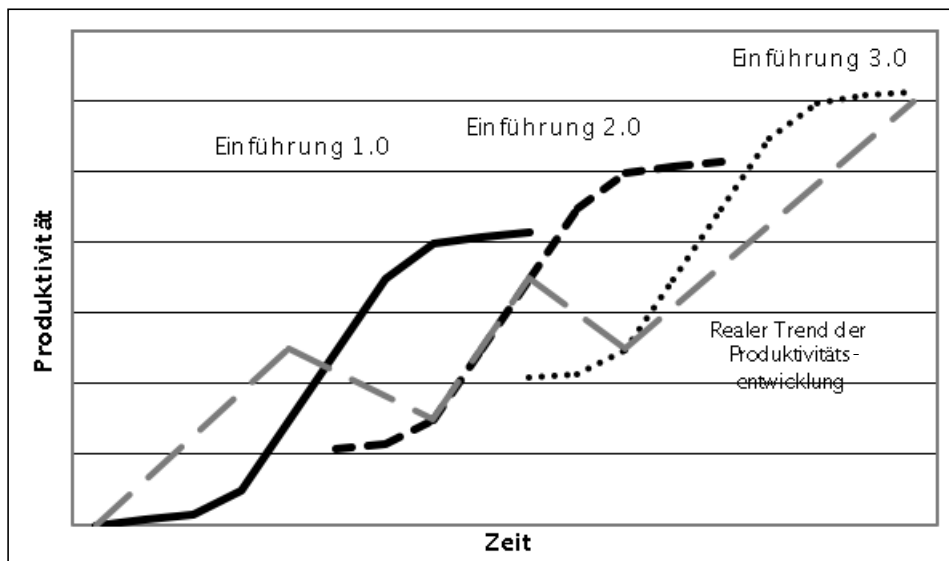
28 Christian Tenbrock/Fritz Vorholz: Amerika im Gasrausch. Fracking könnte die Welt verändern – doch Zweifel wachsen, wie groß die Vorräte wirklich sind, in: Die Zeit, 7.2.2013, S. 21.

29 Titel einer Rede, die der amerikanische Präsident Dwight D. Eisenhower am 8.12.1953 vor der UN-Vollversammlung hielt. Dabei ging es vordergründig um die friedliche Nutzung der Kernenergie, im Kern aber um die Finanzierbarkeit des Waffenbestandes der Atommächte.

zumindest unsichtbar zu machen.³⁰ Dies gilt in weiterem Sinne auch für Japan – ein Land, das gute geopolitische Gründe hätte, sich die nukleare Option offen zu halten. Deutschland, Italien, Österreich und die Schweiz gehören zu den wenigen nachindustriellen Staaten, die in dieser Hinsicht frei entscheiden können, ob sie den nuklearen Kreislauf verlassen oder nicht. Die Aussteiger werden nicht durch politisches Statusdenken in den Kategorien atomarer Weltmacht daran gehindert, neue Technologien für sich zu erschließen. Aber auch in Deutschland, das seine Ambitionen, Atommacht zu werden, 1969 aufgab, wirkt sich die Pfadabhängigkeit von *atoms for peace* noch immer aus. EU-weit fließen inzwischen 30 Mrd. Euro in die Förderung erneuerbarer Energien, aber noch immer rund 100 Mrd. Euro in die Subventionierung konventioneller und atomarer Energieerzeugung.³¹

Der dritte Grund für das säkulare Schneckentempo des solartechnischen Fortschritts liegt in der anhaltenden Unterschätzung der Bedeutung des Erfahrungslernens für ein wettbewerbsfähiges Angebot marktgängiger Produkte. Bis zur Marktreife musste auch die Technologie von Solarzellen Entwicklungssprünge verkraften und damit auf mehreren Lernkurven immer wieder Produktivitätsrückschläge überwinden (s. Abb. 2).

Abbildung 2: Lernkurve Technologieeinführung



Quelle: Eigene Darstellung (Tristan Graefen)

30 Werner Abelshäuser: Deutsche Wirtschaftsgeschichte. Von 1945 bis zur Gegenwart. 2. erw. Aufl., München 2011, S. 248 ff.

31 Zahlen (2011) im Entwurf des neuesten Subventionsberichts „Make the most of public intervention“ des Energiekommissars Oettinger, die in der finalen Version gestrichen wurden. Siehe Cerstin Gammel: Oettinger schönst Subventionsbericht, in: Süddeutsche Zeitung vom 14.10.2013, S. 1. Der Entwurf ist dokumentiert in: <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/foerderung-der-energiebranche-oettinger-schoent-subventionsbericht-1.1793957>.

Dieser kostspielige Prozess des „learning by using“ ist auf Anreize für langfristige Investitionen angewiesen. Auf den Lernkurven zu surfen, setzt also „geduldiges“ Kapital voraus. Der Teufel steckt in den Details der technologischen Entwicklung. Nicht, dass es an technischem Fortschritt gefehlt hätte. Die Erfindung der Kupferoxydul-Photozelle durch Bruno Lange am Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung hatte 1931 zu Recht die Hoffnung auf einen baldigen Durchbruch wachsen lassen.³² Durch ihren hohen photoelektrischen Wirkungsgrad und den geringen inneren Widerstand entstand – anders als bei Alkali-Photozellen – völlige Proportionalität zwischen der Intensität der auffallenden Strahlung und dem Photostrom. In Schlagzeilen wie „Die Sonne als Kraftmaschine“ und „Vor einer Umwälzung in der Krafttechnik“ fand die Euphorie der Presse und der öffentlichen Meinung ihren Ausdruck.³³ Dennoch gelang die Vermarktung von Solartechnik erst, als sie bei der Energieversorgung von Satelliten im Weltraum konkurrenzlos war. Und auch hier stellte sich bald die Frage, ob dies nicht ein kostspieliger Holzweg war, der unter dem Einfluss staatlicher Subventionierung eingeschlagen wurde. Wieder auf der Erde angekommen, erlebte zwar die Industrie der Solarkollektoren einen Boom. Die Kollektorfläche wuchs in Deutschland von 700 qm (1975) auf 40.000 qm (1979).³⁴ Doch schon in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre stiegen die großen Produzenten – wie Buderus, Dornier und Messerschmidt-Bölkow-Blohm – wieder aus. Sie kapitulierten vor der Vielzahl technischer Probleme und unterwarfen sich nicht dem Prinzip des „learning by using“, also der Mühsal des Lernens aus der Anwendung, weil sich ihnen bequemere und überschaubarere unternehmerische Alternativen boten. Anders als in die Atomwirtschaft, die seit den 1950er Jahren im Mittelpunkt staatlicher Forschungsförderung stand, flossen nämlich nur bescheidene Fördermittel in die Solartechnik. Es war deshalb innovativen kleinen und mittleren Unternehmen zu verdanken, dass die Lernkurven des Innovationsprozesses doch immer wieder bewältigt wurden, bis auch die Großen der Branche wieder in den Markt traten. Daraus folgt eine offensichtliche Lehre. Jede wesentliche Änderung des Energieregimes in der Zukunft ist von der Verfügbarkeit langfristiger Investitionen abhängig. Der stehen aber auch heute noch alle Gründe entgegen, die in der Vergangenheit Solarenergie am wirtschaftlichen *take off* hinderten. Wir sind also in der Lage, uns auf die Herausforderungen der Zukunft einzustellen, indem wir die Hindernisse analysieren, die in der Vergangenheit wirksam waren.

Schlussfolgerungen

Erfahrungen wie diese raten zur Vorsicht gegenüber allzu euphorischen Zukunftsvisionen. Sie machen aber auch heute den Reiz aus, das wirtschaftspolitisch Nützliche mit dem gesellschafts- und umweltpolitisch Wünschenswerten zu verbinden. Wenn schon gewaltige staatliche Ausgabenprogramme unvermeidlich sind, um sich gegen die Herausforderung künftiger Wirtschaftskrisen zu wappnen, und vor diesem Hintergrund sogar die Finanzierungsfrage lösbar scheint, warum dann nicht gleich die Gelegenheit nutzen, um anachronistische umweltschädliche Praktiken der untergegangenen Industriegesellschaft samt ihrem prekären

32 Bruno Lange: Photozellen in Wissenschaft und Technik, in: Die Naturwissenschaften 19 (1931), S. 103, 128.

33 Gerhard Mener: Kleinunternehmen und *learning by using*: Der deutsche Kollektormarkt 1973–1997, in: Reinhold Reith/Dorothea Schmidt (Hg.): Kleine Betriebe, angepasste Technologie? Hoffnungen, Erfahrungen und Ernüchterungen aus sozial- und technikhistorischer Sicht (Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt 18). Münster u. a. 2002, S. 91–100.

34 Ebd., S. 92.

Energieregime endgültig zu überwinden? Staatsverschuldung, die diesem Zweck diene, müsste sich nicht einmal den Vorwurf gefallen lassen, sie finanziere Gegenwartsausgaben zu Lasten künftiger Generationen. Im Gegenteil. Globale Projekte zur Nutzung der Sonnenenergie würden sich daher – wenn sie denn eines Tages „ausgabebereit“ durchgeplant wären – geradezu ideal für „Eventualhaushalte“ eignen, die im Falle künftiger Weltwirtschaftskrisen die Rolle der in vielerlei Hinsicht unzulänglichen konventionellen Konjunkturprogramme übernehmen könnten. *Global Governance* ließe sich dann endlich an John Maynard Keynes' Kriterien für eine sinnvolle Krisenintervention messen. Keynes schlug 1936 in seiner *General Theory* zwar augenzwinkernd vor, Pyramiden zu bauen oder Kriege zu führen, um den Wirtschaftskreislauf wieder anzukurbeln. Er fügte aber gleich hinzu, dass ein solcher Notbehelf nur nötig wäre, „wenn die Erziehung unserer Staatsmänner in den Grundsätzen der klassischen Wirtschaftslehre etwas Besserem im Wege steht“.³⁵

Derartige Strategien setzen freilich voraus, dass den Akteuren die Perspektiven einer nachindustriellen Wirtschaft und Gesellschaft wenigstens in Umrissen bekannt wären. Nur dann kann auf den ‚Inspektionseffekt‘ der Krise der Sprung auf ein neues Niveau wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Entwicklung folgen. Hier mag der Grund liegen, warum die Kleine Weltwirtschaftskrise der 1970er-Jahre das *Problembewusstsein* zwar geschärft, *Problemlösungen* aber nicht hervorgebracht hat. Mit seinem Plan „Mut zur Vollbeschäftigung“ (dem sogenannten Ölpapier von 1982) wollte Finanzminister Hans Matthöfer nach der zweiten Ölpreiskrise nicht nur das Land durch höhere Besteuerung fossiler Treibstoffe unabhängig von Öleinfuhren machen.³⁶ Er versprach sich auch neue Handlungsspielräume gegen die Massenarbeitslosigkeit und für die am Ende der Krise dringend nötige Haushaltskonsolidierung. Vor allem aber sollten massive Investitionen in erneuerbare Energien „einen heilsamen Anstoß zur Suche nach ökologiebewußteren und gleichzeitig menschlicheren Lebensformen“ geben.³⁷ Sein Vorschlag zur „Versöhnung von Ökologie und Ökonomie“ wurde freilich von der Prätorianergarde der Industriegesellschaft in allen Parteien brutal niedergeknüppelt – eine Tatsache, der die „Grünen“ ihren Aufstieg mitverdanken.

Tatsächlich gab es zahlreiche Anläufe zur Durchsetzung der Solarenergie und anderer erneuerbarer Energien. Dabei stand im Mittelpunkt der energiepolitischen Debatte, die in den siebziger und achtziger Jahren einsetzte, nicht der umweltverträgliche Ausbau erneuerbarer Energien. Sie wurde vielmehr von den Risiken und Chancen der zivilen Nutzung der Kernenergie bestimmt. Spätestens mit der Ratifizierung des Atomwaffensperrvertrags 1973 verlor sie ihren verdeckten Doppelcharakter, so dass der Weg für einen „Atomkonsens“ frei wurde, der schließlich im Juni 2000 zwischen der Regierung Schröder und den vier großen, marktbeherrschenden Energieversorgungsunternehmen die Befristung der bestehenden Kernkraftwerke bei gleichzeitiger Garantie störungsfreier Energieversorgung beinhaltete. Der Konsens über das Ende von *atoms for peace* fiel allen Beteiligten umso leichter, als nach der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl (1986) keine neuen Atomkraftwerke in Deutschland beantragt wurden. Damit war der Vorrang für erneuerbare Energien verbunden, der sich im 2000 verabschiedeten Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) niederschlug. Irritationen wie die 2010 von der Regierung Merkel beschlossene Laufzeitverlängerung bis 2022 und der erneute Ausstieg aus der Kernenergie, den dieselbe Regierung nach der Nuklearkatastrophe

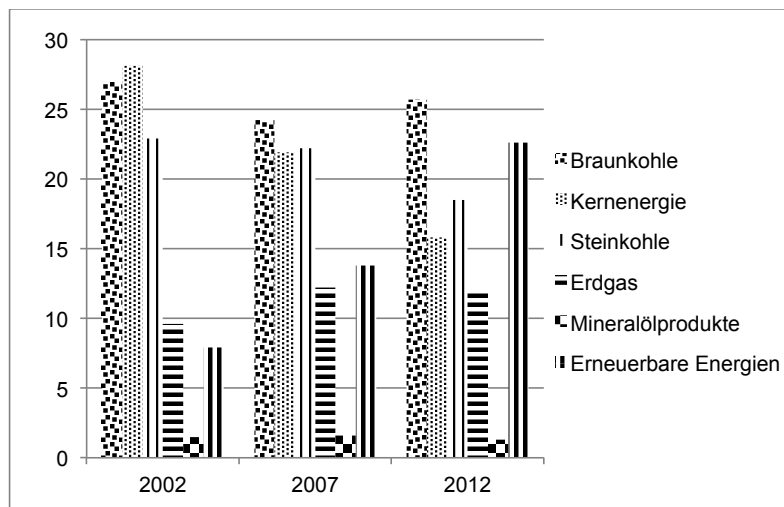
35 John Maynard Keynes: *Allgemeine Theorie der Beschäftigung, des Zinses und des Geldes*. Berlin 1936, S. 110.

36 Werner Abelshäuser: *Nach dem Wirtschaftswunder. Der Gewerkschafter, Politiker und Unternehmer Hans Matthöfer*. Bonn 2009, S. 516-527.

37 Matthöfer an Schmidt, Bonn, den 16.11.1979, Archiv der sozialen Demokratie der Friedrich-Ebert-Stiftung, Depositemat Matthöfer, 127.

im Atomkraftwerk Fukushima Daiichi (2011) verfügte, werfen ein bezeichnendes Licht auf die politische Seite des Energieregimes, können aber – wie es scheint – an der langfristigen Entscheidung für die erneuerbaren Energien nichts ändern. Diese deckten 2007 immerhin 14 v. H. der gesamten Bruttostromerzeugung in Deutschland und sind bis 2012 auf 22,5 v. H. angewachsen (s. Abb. 3), wobei Windenergie ein gutes Drittel, Solarenergie ein knappes Fünftel der Erneuerbaren ausmachen (s. Abb. 4).³⁸

Abbildung 3: Prozentuale Zusammensetzung der deutschen Bruttostromerzeugung

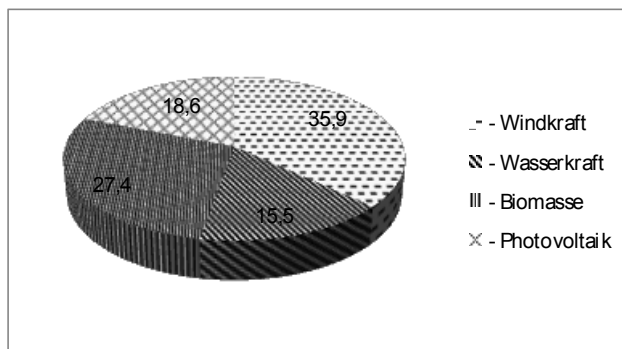


Quelle: Statistisches Bundesamt; Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.

Vor dem Hintergrund dieser historischen Erfahrungen scheint die Durchsetzung eines umweltverträglichen, weil aus erneuerbaren Quellen gespeisten Energieregimes keineswegs sicher. Wenn dieser Anlauf immer wieder auf halbem Weg stecken blieb, lag es nicht an einer grundsätzlichen Fehleinschätzung ihres technischen und wirtschaftlichen Potentials. Der Teufel steckte vielmehr in den Widrigkeiten der Märkte, sei es, dass diese im Wettlauf um die bessere Kosten-Preis-Relation andere Primärenergien bevorzugten, sei es, dass die Investoren nicht die Geduld zum „Lernen aus der Anwendung“ aufbrachten. Im Grunde scheiterte die Neuorientierung der Energiepolitik am Ende aber immer wieder aufs Neue an der gedanklichen Fixierung der Akteure in Wirtschaft und Politik auf das Paradigma der ‚Industriellen Revolution‘. Ihr schienen die hoch entwickelten Wirtschaftsnationen ihren Wohlstand zu verdanken und so verstanden sie sich lange – zu lange – als *Industriegesellschaften*. Erst in den 1980er Jahren erinnerte die historische Sozialwissenschaft an die tiefe Epochenzäsur am Ende des 19. Jahrhunderts und gründete darauf ein neues, nachindustrielles

38 S. auch Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energie in Deutschland. Trends und Hintergründe zur Energieversorgung. Berlin 2013, S. 23 (<http://www.bmwi.de/Dateien/Energieportal/PDF/energie-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, abgerufen am 11.12.2013).

Abbildung 4: Prozentuale Zusammensetzung des Anteils der erneuerbaren Energien an der deutschen Bruttostromerzeugung von 2012



Quelle: Statistisches Bundesamt, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.

Weltbild.³⁹ Der enge Zusammenhang von Energieregime und Gesellschaft war und ist dabei offensichtlich. Für Entwicklungsländer, die heute an der Schwelle zur Industriegesellschaft stehen, kommt diese Erkenntnis nicht zu spät. Ihnen bieten nachindustrielle Energiesysteme die Chance des Überholens ohne (industriell) aufholen zu müssen. Für die Weltgesellschaft wäre dies gewiss eine verheißungsvolle ökologische Perspektive.

Anschrift des Autors: Prof. Dr. Werner Abelschäuser, Fakultät für Geschichtswissenschaft, Philosophie und Theologie, Universität Bielefeld, Postfach 10 01 31, 33501 Bielefeld, E-Mail: werner.abelschäuser@uni-bielefeld.de

39 Werner Abelschäuser: Von der Industriellen Revolution zur Neuen Wirtschaft. Der Paradigmenwechsel im wirtschaftlichen Weltbild der Gegenwart, in: Jürgen Osterhammel/Dieter Langewiesche/Paul Nolte (Hg.): Wege der Gesellschaftsgeschichte (Geschichte und Gesellschaft, Sonderheft 22). Göttingen 2006, S. 201-218.