

Strukturelle Defizite in der Forschung in Hinblick auf die Herausforderung der „Energiewende“

von Roman Hatzky

Einleitung

Die „Energiewende“ ist nach der Definition auf Wikipedia [1] der geplante Übergang von der nicht-nachhaltigen Nutzung von fossilen Energieträgern sowie der Kernenergie (durch Kernspaltung) hin zu einer nachhaltigen Energieversorgung mittels erneuerbarer Energieformen. Die Bundesrepublik Deutschland strebt die „Energiewende“ an, wobei insbesondere der Ausbau der Windenergie und der Photovoltaik zur Stromversorgung als Teil der nachhaltigen Energieversorgung im Fokus steht. Dabei wird leicht übersehen, dass auf die Stromproduktion nur ein geringer Teil des Primärenergieverbrauchs – des Energiegehalts aller im Inland eingesetzten Energieträger – entfällt. Betrachtet man den Endenergieverbrauch nach Energieträgern, so ist zu unterscheiden zwischen Kohle, Kraftstoffen, Heizöl, Gas, Strom, Fernwärme und sonstigen Energieträgern, wie z.B. Brennholz, Brenntorf, Klärschlamm, Müll usw. Der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch betrug in Deutschland für das Jahr 2019 nur ca. 20 % [2].

Sollte es gelingen, in Deutschland die Stromproduktion vollständig durch regenerative Energieträger wie z.B. Windenergie, Photovoltaik, Wasserkraft, Biomasse usw. zu decken, so wäre nur ein Fünftel des Endenergieverbrauchs nachhaltig erzeugt worden. Die „Energiewende“ wäre damit noch lange nicht vollzogen. Somit wäre es zum jetzigen Zeitpunkt zutreffender, von einer „Stromwende“ zu sprechen. Die „Stromwende“ kann unter verschiedenen Aspekten betrachtet werden, wie z.B. unter dem der Unfallträchtigkeit der Kraftwerke, der Beschaffung des Energieträgers für deren Betrieb, der Akzeptanz in der Bevölkerung sowie dem der Abfallentsorgung. Eine Bewertung und Gewichtung dieser Aspekte ist letztendlich eine Aufgabe der Gesellschaft und damit der Politik. Hierbei kommt man in verschiedenen Ländern zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Im Folgenden erfolgt ausschließlich eine Betrachtung der Stromversorgung unter den Aspekten der Versorgungssicherheit und einer geringen CO₂-Emission.

Herausforderung „Stromwende“

Lastprofil der Stromproduktion eines Industrielands

Der Stromverbrauch in einem Industrieland setzt sich aus einem konstanten und einem variablen Anteil zusammen. Bei dem variablen Anteil gibt es verschiedene Zeitskalen. So gibt es einen Tagesgang, d.h. es wird um die Mittagszeit mehr Strom verbraucht als während der Nacht. Im Laufe einer Woche wird werktags mehr Strom verbraucht als an Wochenenden, da die Industrieproduktion überwiegend während der Werkzeuge erfolgt. Und zuletzt ist der Jahresgang zu erwähnen, d.h. es wird im Winter tendenziell mehr Strom verbraucht als im Sommer. Der Strombedarf hat daher sein jährliches Maximum um die Mittagszeit an einem Werktag im Januar.

Unabhängig vom variablen Anteil des Stromverbrauchs gibt es einen konstanten Stromverbrauch, der in Deutschland in etwa die Hälfte des Maximalverbrauches beträgt. Als Grundlast wird daher die niedrigste Tagesbelastung eines Stromnetzes verstanden. Daraus folgt, dass eine kontinuierliche Mindeststromerzeugung notwendig ist. Der Aspekt der Grundlastfähigkeit eines Energieträgers ist bei der Stromversorgungssicherheit von besonderer Bedeutung. Grundlastfähig sind jene Energieträger, die die niedrigste Tagesleistung konstant liefern können. Kernkraftwerke können unabhängig von Sonne und Wind Strom produzieren und sind grundlastfähig. Sie können hingegen nur bedingt auf kurzzeitige Verbrauchsspitzen im Stromverbrauch reagieren [3]. Hierfür sind

Gaskraftwerke geeignet, da man diese in deutlich weniger als einer halben Stunde auf Volllast bringen kann. Pumpspeicherkraftwerke haben eine noch schnellere Lastfolgefähigkeit, da sie innerhalb von einer Minute ihre Leistung hochfahren können.¹ Durch beide Energieträger können verminderte Leistungseinspeisungen aus Windenergie- sowie Photovoltaikanlagen kurzzeitig kompensiert werden.

Versorgungssicherheit der Stromversorgung

Für die Versorgungssicherheit der Stromproduktion muss garantiert sein, dass die Energieträger in ihrer Summe immer in der Lage sind, die Erzeugung des Stromverbrauchs zu gewährleisten. Dabei sind Stromerzeuger besonders wichtig, die, abgesehen von Wartungsintervallen, zu jedem Zeitpunkt Energie in das Stromnetz einspeisen können. Bei Windenergie und Photovoltaik handelt es sich um volatile Energieformen, die nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen. Mit ausschließlich regenerativen Energieformen ist daher eine zuverlässige Stromversorgung nur zu gewährleisten, wenn man die überproduzierte Energie zwischenspeichert, um sie dann während der Nacht oder einer Windflaute in das Stromnetz einzuspeisen. Den ungünstigsten Fall stellen sogenannte „Dunkelflauten“ dar, d.h. Zeiträume, in denen weder die Sonne scheint noch der Wind weht. Dabei muss man berücksichtigen, dass es in Europa zu Wetterlagen kommen kann, bei denen großflächig über viele Tage nur wenig Wind weht. Für solche Zeiträume müssten daher große Energiemengen zwischengespeichert werden. Entsprechende Speichertechniken, die wirtschaftlich betrieben werden könnten, stehen zur Zeit noch nicht zur Verfügung. Eine Speicherung durch Pumpspeicherkraftwerke in der benötigten Größenordnung ist für Deutschland leider ausgeschlossen, da es aufgrund seiner Topographie nicht über genug gebirgiges Gelände verfügt.

Sollte es in Phasen der Minderproduktion nicht gelingen, den Strombedarf zu decken, so bliebe nur noch die Alternative übrig, Stromverbraucher (Netzlast) gezielt vom Netz zu nehmen, um einen Zusammenbruch des Stromnetzes – einen sogenannten „Blackout“ – zu verhindern. Eine Speicherung der elektrischen Energie im Stromnetz selbst ist hingegen nicht möglich. Die eingespeiste und entnommene elektrische Energie müssen immer im Gleichgewicht sein. Zudem ergibt sich das Problem, dass bei der Einspeisung von überschüssiger Energie die Netzfrequenz von 50 Hz nicht stabil gehalten werden könnte. Es würde unweigerlich zu einer Erhöhung der Netzfrequenz (Überfrequenz) kommen, was wiederum zu Schäden bei verschiedenen Verbrauchern führen würde.

Da eine zukünftige Energieversorgung CO₂-emissionsarm sein muss, um dem anthropogenen Treibhauseffekt Einhalt zu gebieten, können die fossilen Energieträger nicht mehr wie bisher eingesetzt werden. Dies begründet die Notwendigkeit der „Energiewende“, in deren bisherigem Fokus der möglichst schnelle Ausbau der regenerativen Energieträger in Deutschland steht. Dabei übersieht man, dass das Energiekonzept bezüglich der Versorgungssicherheit noch große Lücken aufweist [5]. Alternative Langzeitspeicher für die Energie aus Windenergie und Photovoltaik sind in der benötigten Größenordnung aktuell noch nicht konzipiert. Es besteht daher Forschungsbedarf, um unter anderem Langzeitspeicher zu entwickeln und zu realisieren. Insbesondere Deutschland als eines der führenden Industrieländer steht hier mit seiner Forschungspolitik in der Verantwortung.

Konzept der „Stromwende“ in Deutschland

Anstatt über viele Jahre breit und substantiell in die Energieforschung zu investieren, hat man seit dem Jahr 1991 über die Umlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) den Ausbau der

¹Leider ist die in Deutschland zur Verfügung stehende Pumpspeicherleistung von etwa 7 Gigawatt relativ gering und reicht zudem pro Zyklus nur für 4–8 Stunden Dauerbetrieb [4].

Photovoltaik und der Windenergie massiv vorangetrieben. Jedoch wurde ignoriert, dass auch diese Energieträger durchaus ihre Nachteile haben.

So handelt es sich z.B. bei Photovoltaikanlagen nach dem Ende der maximalen Betriebsdauer um Elektroschrott, der fachgerecht zu entsorgen ist. Die Rotorblätter der Windenergieanlagen sind ebenfalls schwer zu recyceln, da es sich um Verbundwerkstoffe handelt, die unter anderem mit seltenem Balsaholz gebaut werden. Zudem kommen Vögel und Fledermäuse durch die Rotorblätter zu Tode und es besteht im Winter die Gefahr des Eiswurfs in der Umgebung von Windenergieanlagen. Der wahrscheinlich gravierendste Nachteil der Energiegewinnung durch Windenergie und Photovoltaik besteht aber darin, dass die erzielbaren Leistungsdichten im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken sehr niedrig sind². Infolgedessen haben beide Energieformen einen erheblichen Flächen- und Materialverbrauch³, da signifikante Erträge nur auf großen Flächen erwirtschaftet werden können.

Vor dem Reaktorunfall im japanischen Fukushima hatte Deutschland ein Energiekonzept [8] für die Stromerzeugung, das aus den folgenden Komponenten bestand: erstens Windenergie und Photovoltaik als regenerative Energieformen, zweitens Energie aus Kernspaltung zum Abdecken der Grundlast und drittens Gasturbinenkraftwerke mit schneller Reaktionszeit zur Kompensation von wetterbedingten Leistungsminderungen der regenerativen Energieformen. Den überwiegenden Anteil sollten dabei die Windenergie und die Photovoltaik beisteuern. Die komplementären Eigenschaften der Stromerzeugung durch Windenergie und Photovoltaik einerseits und aus der Kernspaltung andererseits eigneten sich gut, um eine zuverlässige und CO₂-emissionsarme Stromversorgung zu gewährleisten.

Obwohl kurz vor dem Reaktorunfall von Fukushima die Laufzeiten der Kernkraftwerke noch verlängert und die Kernenergie als „Brückentechnologie“ angepriesen worden war, beschloss die Bundesregierung 2011 den Ausstieg aus der Energiegewinnung durch Kernspaltung in Deutschland. Die inhärenten Risiken der Kernspaltung, d.h. die potentielle Gefahr einer Kernschmelze des Reaktors und die ungelöste Problematik der Entsorgung der langlebigen radioaktiven Isotope des atomaren Abfalls wurden als Gründe für diese Entscheidung genannt. Zusätzlich gibt es noch das Problem der Proliferation, d.h. die Weitergabe von waffenfähigem Spaltmaterial, das unmittelbar mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie durch Kernspaltung verbunden ist.

Durch die sukzessive Abschaltung der Kernkraftwerke und der zukünftigen Abschaltung der Kohlekraftwerke ist die Notwendigkeit entstanden, die sich daraus ergebende Lücke in der Energieversorgung zu schließen. Dabei ist zu beachten, dass die nun abgeschaltete Leistung vormals von Kraftwerken bereitgestellt wurde, die grundlastfähig waren. Verschärfend kommt noch hinzu, dass ein deutlich zunehmender Stromverbrauch für die kommenden Jahre prognostiziert wird [9]. Zwei treibende Faktoren sind dabei der geplante Ausbau der Elektromobilität sowie die weiter fortschreitende Digitalisierung⁴ der Gesellschaft.

Aktuelle Daten zur „Stromwende“

Im Jahr 2020 betrug die Leistung der in Deutschland installierten Windenergieanlagen an Land $P_{\text{won}} = 54,4$ Gigawatt und auf See $P_{\text{woff}} = 7,75$ Gigawatt. An Land wurden rund 103,7 TWh und

²Die Leistung, die mit einem Quadratmeter Photovoltaikanlage bei Südausrichtung in Deutschland erreicht wird, beträgt ca. 20 W; die Leistung von Windenergieanlagen pro Quadratmeter liegt bei 1,1 W–6,7 W und hängt stark von der Beschattung der Windenergieanlagen in den Windparks ab [6]. Beschattung meint hier, dass die Windkraftanlagen dem Wind Energie entziehen und infolgedessen benachbarte Windkraftanlagen weniger Energie erwirtschaften können.

³Eine Windenergieanlage mit einer typischen Leistung von 3,2 Megawatt im Jahr 2020, die auf dem Meer, d.h. „offshore“ betrieben wird, benötigt ca. 26 t Kupfer [7].

⁴Darunter fallen u.a. die Verwendung von Streaming-Diensten und Kryptowährungen. Letztere müssen mit einem hohen Energieaufwand geschürft werden.

auf See rund 27,3 TWh Energie erzeugt, insgesamt also rund 131 Terawattstunden [10]. Vergleicht man nun die Energie, die man über ein Jahr mit der installierten Leistung bei Vollast theoretisch hätte erzeugen können, mit der tatsächlich erzeugten Energie, so ergeben sich folgende Jahresnutzungsgrade (Kapazitätsfaktoren) der Windenergieanlagen: $103,7 \text{ TWh} / (54,4 \text{ Gigawatt} \cdot 8784 \text{ h}) = 22 \%$ an Land, $27,3 \text{ TWh} / (7,75 \text{ Gigawatt} \cdot 8784 \text{ h}) = 40 \%$ auf See und insgesamt $131 \text{ TWh} / (62,15 \text{ Gigawatt} \cdot 8784 \text{ h}) = 24 \%$. Man erkennt sofort, dass die Windenergieanlagen auf See einen um den Faktor zwei besseren Jahresnutzungsgrad haben. Dies liegt daran, dass der Wind auf See konstanter und mit einer höheren Geschwindigkeit weht als an Land. Die Windleistung wächst mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit [11], weshalb die Auswahl eines „windigen“ bzw. windhöffigen Standorts wichtig für die erfolgreiche Nutzung einer Windenergieanlage ist.

Im Jahr 2020 betrug die Leistung der in Deutschland installierten Photovoltaikanlagen $P_{\text{pv}} = 53,7 \text{ Gigawatt}$ und es wurden rund 48,6 TWh erzeugt [12]. Errechnet man den Jahresnutzungsgrad der Photovoltaikanlagen, so ergibt sich: $48,6 \text{ TWh} / (53,7 \text{ Gigawatt} \cdot 8784 \text{ h}) = 10 \%$. Der Jahresnutzungsgrad der Photovoltaikanlagen ist mit nur 10 % sehr gering⁵. Als Gründe hierfür sind der Ausfall während der Nacht, die Beschattung durch Bewölkung und die geografische Lage zu nennen. Wichtig ist also der Standort der Photovoltaikanlage: Die Photovoltaikanlagen sollten bevorzugt an „sonnigeren“ Standorten aufgestellt werden, d.h. dort, wo die Sonneneinstrahlung pro Quadratmeter und Jahr besonders groß ist, wie z.B. in Nordafrika.

Rechnet man die Energieproduktion aus Wind- und Photovoltaikanlagen zusammen, so zeigt sich, dass im Jahr 2020 $(132 \text{ TWh} + 48,6 \text{ TWh})/567 \text{ TWh} = 32 \%$ des produzierten Stroms [13] aus Windenergie und Photovoltaik stammen. Nehmen wir an, dass der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch entsprechend dem Jahr 2019 auch für das Jahr 2020 mit ca. 20 % angesetzt werden kann, so ergibt sich ein Anteil von $32 \% \cdot 20 \% = 6 \%$ der Windenergie und Photovoltaik am Endenergieverbrauch Deutschlands. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass im Jahr 2020 ca. 94 % des Endenergieverbrauchs nicht von den beiden Eckpfeilern der deutschen „Energiewende“ – der Windenergie und Photovoltaik – erzeugt wurden. Im selben Jahr flossen 30,9 Milliarden Euro [14] an die Betreiber von EEG-geförderten Wind-, Photovoltaik- und Biomasseanlagen [15]. Von der EEG-Gesamtvergütung⁶ in Höhe von 34,5 Milliarden Euro entfielen 41 % auf Windenergie (an Land und auf See), 34 % auf Photovoltaik (solare Strahlungsenergie) und 23 % auf Biomasse [16].

Kritische Bemerkungen zur „Stromwende“

Da in Deutschland schon seit Jahren Windenergie- und Photovoltaikanlagen betrieben werden, liegen langjährige Daten zu deren Erträgen vor. Diese Daten kann man verwenden, um verschiedene Szenarien zu modellieren. Die folgenden Ergebnisse stammen aus einer Veröffentlichung von F. Wagner [17]. Nimmt man an, dass der elektrische Energieverbrauch der Jahre 2010–2015 durch Windenergie- und Photovoltaikanlagen zu 100 % hätte gedeckt werden sollen, so ergibt sich folgender optimaler Mix⁷: $P_{\text{won}} = 174 \text{ Gigawatt}$, $P_{\text{woff}} = 43 \text{ Gigawatt}$ und $P_{\text{pv}} = 118 \text{ Gigawatt}$. Es hätte somit eine Gesamtleistung von 335 Gigawatt an regenerativen Energieformen installiert werden müssen. Dies ist das Vierfache der Maximallast des Stromverbrauchs. Zudem wäre es notwendig geworden, eine Reservekapazität von 73 Gigawatt konventioneller Kraftwerke vorzuhalten,

⁵Dies entspräche in etwa der erzeugten Energie von fünf mittleren Kernkraftwerken mit einer Nennleistung von etwa 1,4 Gigawatt und einem Jahresnutzungsgrad von 90 %.

⁶Summe aus Vergütungs- und Prämienzahlungen ohne ausgeforderte Anlagen gemäß § 21 (1) Nr. 3b EEG sowie Einnahmen aus Vermarktung der Strommengen nach § 20 EEG (Marktprämie)

⁷Der optimale Mix aus Windenergie und Photovoltaik ist definiert durch eine während eines Jahres minimale benötigte Reserve- bzw. Backup-Energie, falls die Wetterbedingungen es nicht zulassen, dass die intermittierenden erneuerbaren Energiequellen den Bedarf decken.

um lediglich 132 TWh in Mangelperioden und während Dunkelflauten zu produzieren. Die Reservekraftwerke hätten damit einen Jahresnutzungsgrad von lediglich $132 \text{ TWh} / (73 \text{ Gigawatt} \cdot 8760 \text{ h}) = 21 \%$ erzielt – ein viel zu niedriger Jahresnutzungsgrad, um die Reservekraftwerke wirtschaftlich betreiben zu können.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Verteilung des produzierten Stroms aus den Windenergieanlagen, die ihren Standort insbesondere im Norden Deutschlands haben. Es sind dafür sogenannte „Stromautobahnen“, d.h. Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsleitungen zu installieren, um den Strom zu den Verbrauchern im Süden zu transportieren. Leider kommt es bei deren Ausbau zu deutlichen Verzögerungen.

Für einen fairen Vergleich der Stromgestehungskosten müssen die anfallenden Kosten der Bereitstellung der Reservekraftwerke den Stromgestehungskosten der regenerativen Energieträger zugeschlagen werden. Dies trifft auch auf die Kosten zu, die anfallen, wenn aufgrund einer massiven Stromüberproduktion Windenergieanlagen abgeregelt werden müssen bzw. die Verkaufspreise einbrechen. Die Verkaufspreise für Strom können sogar ins Negative drehen, d.h., dass an die Stromkäufer eine Vergütung zu entrichten ist. Dies geschieht, wenn das Angebot die Nachfrage übersteigt. In solchen Phasen sind auch Deutschlands Nachbarstaaten nicht bereit, beliebige Energiemengen in Form von Strom abzunehmen, da sie eine Destabilisierung ihrer eigenen Stromnetze befürchten müssen. So haben z.B. Polen und Tschechien Phasenschiebertransformatoren installiert, um die Überproduktion von Strom aus Deutschland an der Grenze abzublocken [18].

Man erkennt anhand der oben aufgeführten Modellrechnung das Grundproblem der Volatilität der regenerativen Energieformen, d.h. den Umstand, dass sie nicht kontinuierlich zur Verfügung stehen. Es gibt sowohl Momente ausgeprägter Überproduktion als auch der Unterversorgung, in denen die Reservekraftwerke einspringen müssen, die im Mittel nur schlecht ausgelastet sind. Möchte man nicht auf eine Backupstruktur von Kraftwerken mit fossilen Energieträgern bzw. Kernkraftwerken zurückgreifen, so ist es unabdingbar, Speichermöglichkeiten für die Windenergie und Photovoltaik bereitzustellen. Wichtig ist, dass ein konsistentes Gesamtkonzept entwickelt wird, bei dem auch der optimale Mix der verschiedenen regenerativen Energieträger angestrebt wird.

Ob dabei die Power-to-Gas-Technologie – Herstellung von Brenngas unter Einsatz eines elektrischen Stroms [19] – in der Lage sein wird als Energiespeicher zu fungieren, wird davon abhängen, welchen Wirkungsgrad man erreichen kann und ob es möglich sein wird, die Prozesse in der benötigten Größenordnung zu realisieren. Entsprechende Technologien existieren zurzeit noch nicht.

Kritische Bemerkungen zur „Energiewende“

Die Realisierung der „Energiewende“ ist sehr ambitioniert, da das Gesamtvolumen der Energiegewinnung in modernen Industriegesellschaften groß ist (allein die Stromgewinnung beläuft sich bei steigender Tendenz in Deutschland im Jahr 2020 auf 567 Terawattstunden [13]) und da es innerhalb eines Zeitraums von 20–30 Jahren durch regenerative Energieträger ersetzt werden soll. Zudem muss die „Energiewende“ auf einer globalen Skala vollzogen werden, wenn man die durch den Menschen bedingte Erderwärmung nachhaltig abschwächen möchte. Die politischen Herausforderungen sind gewaltig, da man weltweit, in einer konzertierten Anstrengung über mehrere Jahrzehnte, die politischen Rahmenbedingungen für die „Energiewende“ verlässlich schaffen muss, um Planungssicherheit zu garantieren.

Die in Deutschland angestrebte Energiewende wird wegen des erheblichen Verbrauchs an Rohstoffen [7] nicht auf die gesamte Welt zu skalieren sein. Es handelt sich bei der „Energiewende“ um eine Partikularlösung für reiche Industrieländer, die sich diese finanziell leisten können. Um die „Energiewende“ zu einem Erfolgsmodell für die gesamte Welt zu machen, bedarf es eines viel breiter aufgestellten Konzeptes, das insbesondere die Energieeinsparung durch Verzicht (Suffizi-

enz), Effizienzsteigerung und Innovationen in den Mittelpunkt stellen sollte. Generell gilt daher, dass die „Energiewende“ durch groß angelegte Forschungsanstrengungen flankiert werden muss, um sie zu einem Erfolg zu machen. So hat z.B. auch die Kernfusion grundsätzlich das Potential, einen substantiellen Teil der klaffenden Energielücke zu schließen, sie befindet sich aber noch in der Entwicklungsphase.

Ein globales Unterfangen vergleichbaren Ausmaßes wurde von der Menschheit bisher noch nicht erfolgreich zum Abschluss gebracht, obwohl es ähnliche globale Herausforderungen bereits seit Jahrhunderten gibt, wie z.B. die Bekämpfung von Hunger und Armut. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass sich immer wieder politische disruptive Ereignisse⁸ auf mittleren Zeitskalen manifestieren, die den Fokus des politischen Handelns und den damit einhergehenden Geldflüssen innerhalb kürzester Zeit verschieben. Für Deutschland in den vergangenen fünfzehn Jahren seien hier nur die Finanzkrise, die Flüchtlingskrise, die COVID-19-Pandemie und die Ukraine-Krise erwähnt. Insbesondere die COVID-19-Pandemie zeigt erneut, wie schwierig es ist, auf einer transnationalen Ebene unter Krisenbedingungen ein koordiniertes Handeln zu gewährleisten.

Bei der Erderwärmung kommt erschwerend hinzu, dass die involvierten Zeitkonstanten mehrere Jahrzehnte betragen, d.h. dass eine drastische CO₂-Reduktion keine unmittelbaren Auswirkungen auf die anthropogene Erderwärmung hätte. Stattdessen würde die globale Erwärmung erst einmal weiter voranschreiten. Es dürfte der Gesellschaft schwer zu vermitteln sein, dass die ergriffenen Maßnahmen und die damit verbundenen Einschränkungen des Lebensstandards vieler Menschen über viele Jahre ohne sichtbaren Effekt wären.

Strukturen und Zeitskalen in der Wissenschaft

Die Internationale Energieagentur (IAE) beschreibt in einer Roadmap ein Szenario, das bis zum Jahr 2050 zu Null CO₂-Emissionen netto führen soll. Dabei beruhen die jährlichen Einsparungen der CO₂-Emissionen im Jahr 2050 zu etwa der Hälfte auf noch zu entwickelnden Technologien [21]. Es stellt sich daher grundsätzlich die Frage, ob die Wissenschaft mit ihren aktuellen Strukturen in der Lage ist, die hohen an sie gestellten Erwartungen bezüglich der Realisierung der „Energiewende“ zeitnah zu erfüllen. Es geht nicht nur um zusätzliche finanzielle und personelle Mittel, die im Rahmen der „Energiewende“ in der Wissenschaft bereitzustellen sind, sondern auch um die Zeitkonstanten, die in der Grundlagenforschung vorherrschen. In der Grundlagenforschung ist es üblich, dass man Jahrzehnte vorher „säen“ muss, bevor man wissenschaftliche Erfolge „ernten“ kann, da die in der Wissenschaft notwendige Kreativität nicht beliebig beschleunigt werden kann.

Die großen Zeitskalen, auf denen der wissenschaftliche Fortschritt erfolgt, stehen im Konflikt mit der Tatsache, dass die globale „Energiewende“ in 20–30 Jahren vollzogen sein muss, wenn die globale Erderwärmung noch auf zwei Grad beschränkt werden soll. Zudem dürften vielen Politikern diese großen Zeitskalen fremd sein, da im politischen Betrieb mittlerweile allenfalls wenige Jahre im Voraus geplant wird. Dennoch ist es Aufgabe der Politik, die langfristigen Rahmenbedingungen der Wissenschaft entsprechend zu gestalten, damit die Wissenschaft ihren essenziellen Beitrag zur „Energiewende“ leisten kann.

Es sollte sichergestellt werden, die notwendige Anzahl an Wissenschaftlern auszubilden und zu rekrutieren. Dabei ist zu bedenken, dass die Ausbildung eines Wissenschaftlers ca. 10 Jahre beträgt (5 Jahre zum Masterabschluss, 3 Jahre zur Promotion und 2 Jahre für eine Postdoktorandenphase). Im Vergleich zur „Energiewende“ mit ihrem angestrebten Zeithorizont von 20–30 Jahren ist dies bereits ein recht langer Zeitraum. Man muss daher auch hier rechtzeitig gegensteuern, damit es bei

⁸Es handelt sich um sogenannte „schwarze Schwäne“, da sich das Auftreten dieser Ereignisse nicht durch Extrapolation von Entwicklungen vorhersehen lässt [20].

der Realisierung der „Energiewende“ nicht zu einem Mangel an gut ausgebildeten Wissenschaftlern kommt.

Führungskräfte im Dauerstress

Je höher das Renommee einer wissenschaftlichen Führungskraft ist, desto mehr Angebote werden ihr gemacht, sich in Gremien und Ausschüssen zu engagieren. Damit geht oftmals eine vermehrte Gutachtertätigkeit einher. In der Folge kommt es zu einer „Ämterhäufung“, die selbst mit einem hohen Arbeitspensum und einer starken Arbeitsverdichtung nicht adäquat zu bewältigen ist. Entsprechend unzureichend vorbereitete Mitglieder sitzen in den wissenschaftlichen Gremien und Ausschüssen, die versuchen müssen, mit einem minimalen Aufwand ihrer Aufgabe gerecht zu werden.

Bis vor der COVID-19-Pandemie war es üblich, dass die meisten Treffen persönlich stattfanden, was eine hohe Reisetätigkeit mit sich brachte. Dienstreisen sind kein guter Ort, um konzentriert zu arbeiten und führen zu Erschöpfung, wenn sie gehäuft anstehen. Zudem stehen die Führungskräfte dann am Dienort nicht dafür zur Verfügung, Gespräche mit Mitarbeitern zu führen und den akademischen Nachwuchs zu betreuen.

Des Weiteren werden die Führungskräfte mit häufigen Evaluierungen ihrer Abteilungen bzw. Institute konfrontiert, die einen hohen Zeitaufwand mit sich bringen. Das Resultat der Evaluierungen ist häufig wenig aussagekräftig, da hier im Wesentlichen evaluiert wird, wie gut die Führungskräfte in der Darstellung ihrer Forschungstätigkeit sind und wie gut sie in ihrem Forschungsumfeld sozial vernetzt sind. In der Energieforschung ist zudem der Trend zu beobachten, dass die Evaluierung unter der Vorgabe erfolgt, die Konformität mit der politischen Agenda zu überprüfen. Mit den Evaluierungen gehen auch häufig explizite Forderungen nach der Erstellung von Zeitplänen einher, in denen detailliert die zukünftig zu erreichenden Forschungsziele aufzulisten sind. Dies ist kein sinnvoller Ansatz, da viele Errungenschaften in der Forschung disruptiven Charakter haben und daher grundsätzlich nicht vorherzusagen sind.

Grundsätzlich sollten die Forscher intrinsisch motiviert und leistungsstark sein. Dann können die Strukturen zur Kontrolle und Lenkung auf ein Minimum reduziert werden. Der Leitgedanke muss daher sein, möglichst früh und gründlich die Leistungsbereitschaft und Leistungsfähigkeit der angehenden Forscher zu evaluieren und sie dann möglichst unabhängig forschen zu lassen. In der Regel wissen die Forscher selbst – nicht die Politiker – am besten, wie ihre Forschung effizient zu gestalten ist. Man darf nicht den Fehler begehen, die Forschung nach betriebswirtschaftlichen Erwägungen zu gestalten, um engmaschige Kontrollen zu etablieren. In der Forschung geht es nicht darum, ein „Shareholder Value“ innerhalb eines überschaubaren Zeithorizonts zu maximieren, sondern ein Umfeld zu schaffen, in dem die Kreativität der Forscher sich entfalten kann, so dass es auf mittleren bis großen Zeitskalen zu einem wissenschaftlichen Fortschritt kommen kann. Dies ist besser mit Vertrauen als mit Misstrauen, d.h. kontraproduktiven Kontrollen zu erreichen.

Im akademischen Umfeld wird von den Führungskräften erwartet, dass sie in einem erheblichen Maße Drittmittel einwerben, deren sachgerechte Verwendung anschließend kontrolliert wird. Das Schreiben von Forschungsanträgen ist zeitaufwendig und leider häufig nicht von Erfolg gekrönt [22]. Die Qualität einer Führungskraft wird nicht ausschließlich nach der Forschungsleistung, sondern auch nach dem Vermögen, viel Geld pro Jahr einzuwerben, bewertet. Die Förderung der (Grundlagen-) Forschung durch eine solide Grundfinanzierung ist über die letzten Jahrzehnte als ineffizient diskreditiert worden, da dadurch auch leistungsschwache und leistungsunwillige Forscher alimentiert würden. Diese Kritik greift zu kurz, da ignoriert wird, dass der größte Teil der Forscher intrinsisch motiviert ist und der externen Kontrolle nur in einem sehr geringen Umfang bedarf. Es ist daher kontraproduktiv, dass die leistungsbereiten und leistungsstarken Forscher einen großen

Teil ihrer Zeit mit dem Einwerben von Drittmitteln verbringen müssen, anstatt sich ihrer Forschungstätigkeit zu widmen. Aus diesem Grund ist es erstrebenswert, dass die Grundlagenforschung zu mindestens 2/3 durch eine Grundfinanzierung gefördert wird.

Die Wissenschaft ist generell nicht von gesellschaftlichen Entwicklungen abgeschottet. So erlässt z.B. der Gesetzgeber immer mehr Vorschriften, um gesellschaftspolitische Vorstellungen in den Betrieben und somit auch den Forschungseinrichtungen umzusetzen. Obwohl damit „hehre“ Ziele angestrebt werden, führt die praktische Umsetzung der Verordnungen zu einer zeitlichen Mehrbelastung der Führungskräfte. Entsprechend weniger Zeit bleibt für die eigentliche Forschungstätigkeit übrig.

Auch trifft die Flut an E-Mails die Führungskräfte besonders hart, da sie auf vielen E-Mail-Verteilern stehen.⁹ Als Folge der E-Mail-Flut sind die Führungskräfte ununterbrochen dabei E-Mails zu lesen und zu beantworten, da sie immer unter dem Druck stehen, permanent erreichbar sein zu müssen.¹⁰

Da viele wissenschaftliche Führungskräfte eine Professur innehaben und damit per se an der Ausbildung von Studenten und Doktoranden wesentlich beteiligt sind, wäre es wünschenswert, die wissenschaftliche Lehre effizienter zu gestalten. Ein Schritt in diese Richtung könnte die vermehrte Einstellung von „Lecturern“ an den Universitäten sein, die sich, ausgestattet mit festen Anstellungen, der Lehre der Grundlagen in den Studiennebenfächern widmen, wie z.B. einführende Mathematikvorlesungen. Es ist zwar durchaus erstrebenswert, dass die Professoren sich mit ihrer Forschungstätigkeit in den Kernfächern und den fortgeschrittenen Studieninhalten einbringen, um die Aktualität der akademischen Ausbildung zu gewährleisten und den Kontakt zu den Studenten zu pflegen. Dennoch wäre es effizienter, wenn die „Lecturer“ die Grundlagenvorlesungen in den Nebenfächern übernehmen, um diese auf einem didaktisch hohen Niveau turnusgemäß durchzuführen.¹¹

In der Regel ist der Aufstieg zur Führungskraft im wissenschaftlichen Umfeld mit einer deutlichen Reduktion der eigenen wissenschaftlichen Forschungstätigkeit verbunden. In vielen Fällen bedeutet es sogar den Abschied davon. Stattdessen steht das Managen von Wissenschaft und Wissenschaftlern im Vordergrund. Das ist insofern tragisch, als Wissenschaftler, die sich im harten Konkurrenzkampf ausgezeichnet haben und bis an die Spitze gekommen sind, nur noch in einem geringen Umfang aktiv zur Forschung beitragen können. Da es zunehmend weniger feste Anstellungen im akademischen Mittelbau gibt – dies betrifft insbesondere die Universitäten –, ruht die aktive wissenschaftliche Forschung somit im Wesentlichen auf den Schultern der Postdoktoranden, die in der Regel auch noch die Doktoranden wissenschaftlich betreuen müssen.

Ziel muss es sein, dass die Spitzenforscher wieder mehr Zeit für ihre Kernaufgabe – das Forschen und Lehren – erhalten. Die Evaluierungen sollten auf ein Minimum reduziert werden und die Verwaltung sollte ihre primäre Aufgabe darin sehen, die Führungskräfte zu unterstützen und zu entlasten. Zudem sollte sich die Politik darauf beschränken, die groben Linien der Forschungspolitik vorzugeben. Die detaillierte Umsetzung ist dann die Aufgabe der Führungskräfte in den Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Nur diese verfügen über die notwendigen Detailkenntnisse, um eine

⁹Verstärkt wird dies durch die Unsitte, dass bei der Beantwortung einer E-Mail die Antwort immer pauschal an den gesamten unter „CC“ aufgelisteten E-Mail-Verteiler mitverschickt wird, selbst wenn die Antwort nur für den Verfasser gedacht ist.

¹⁰Man sieht z.B. bei Vorträgen auf Konferenzen und in Seminaren viele der Teilnehmer dabei, wie sie ihre E-Mail beantworten, anstatt dem Vortragenden zuzuhören. Leider herrscht der Irrglaube, dass man sowohl dem Vortrag folgen, als auch die E-Mail beantworten könne.

¹¹Ergänzend sollte man einen nationalen Kanon an Grundvorlesungen einführen, die digitalisiert für jeden Studenten abrufbar sind. Hier wäre es vorteilhaft, wenn sich die wissenschaftliche Didaktik bei der Erstellung dieser Vorlesungen einbringen könnte. Alle Studenten hätten dann einen alternativen digitalen Zugang zu qualitativ hochwertigen Grundlagenvorlesungen.

effiziente Umsetzung zu gewährleisten.

Befristete Anstellungen in der Forschung

Die Befristungen der Arbeitsverträge in der Wissenschaft sind in den letzten Jahren zur Regel geworden. Dies ist trotz des Wissenschaftszeitvertragsgesetzes (WissZeitVG) geschehen, das dieser Entwicklung eigentlich entgegenwirken sollte, es aber nicht verhindert hat, dass zeitgleich unbefristete Arbeitsverhältnisse massiv abgebaut wurden. Nach Abzug der Doktoranden arbeiten heute fast achtzig Prozent der wissenschaftlichen Mitarbeiter an den Hochschulen auf befristeten Verträgen [23]. Solch skandalöse Zustände sind letztendlich weitgehend akzeptierte Normalität geworden. Was die Max-Planck-Gesellschaft angeht, so widmet sich ein „MPIfG Discussion Paper“ [24] ausführlich diesem Missstand. Die Betroffenen selbst kommen z.B. unter dem Hashtag #IchbinHanna auf Twitter zu Wort.

Wie wir im vorherigen Abschnitt gesehen haben, lastet wegen der zeitlichen Überforderung der wissenschaftlichen Führungskräfte ein Großteil der Forschung auf den Schultern der Postdoktoranden. Deren Effizienz wird wiederum durch die befristeten Arbeitsverhältnisse, die typischerweise nur zwei bzw. drei Jahre umfassen, deutlich reduziert. Die Postdoktoranden sind somit permanent damit beschäftigt, sich von einer befristeten Anstellung auf die nächste befristete Anstellung zu bewerben. Jeder Stellenwechsel bringt eine Einarbeitungsphase mit sich. Eine längerfristige Arbeit an einem Projekt bzw. einer wissenschaftlichen Fragestellung ist somit nur schwer zu realisieren. Viele Postdoktoranden beschränken sich daher auf wissenschaftliche Fragestellungen, die vielversprechend zu sein scheinen, innerhalb kurzer Zeit Ergebnisse abzuwerfen, um so den Arbeitgeber vor dem Auslaufen des Zeitvertrags davon zu überzeugen, den Zeitvertrag zu verlängern. Im Vordergrund steht somit nicht das gründliche wissenschaftliche Arbeiten an langfristigen Projekten, sondern die Maximierung der Anzahl an Veröffentlichungen. Der Kampf um die nächste befristete Anstellung führt häufig zu einem Klima der Konkurrenz unter den Postdoktoranden. Dabei sollte in einem wissenschaftlichen Umfeld die Kooperation im Vordergrund stehen.

Die weitgehende Abschaffung des akademischen Mittelbaus an den Universitäten, aber auch an den Forschungseinrichtungen war ein großer Fehler. Der frühere Mittelbau mit seinen unbefristeten Arbeitsverhältnissen war ein Garant für Kontinuität im Wissenschaftsbetrieb und Aufbewahrungsort des tradierten Detailwissens innerhalb der Forschungsgruppen. Er führte zu einer Entlastung der Führungskräfte bei der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und ermöglichte das Verfolgen von langfristigen Forschungszielen. Ziel der Universitäten und wissenschaftlichen Einrichtungen muss es in Zukunft wieder sein, den motivierten und begabten Mitarbeitern nach erfolgreicher Evaluierung eine dauerhafte Perspektive im akademischen Umfeld zu verschaffen. Stattdessen ist ein akademisches Prekariat entstanden, das vor Ausbeutung nicht geschützt ist und dessen Mitglieder als Wanderarbeiter durch die Welt ziehen. Als Konsequenz verlassen viele talentierte Wissenschaftler aus Frustration über die bestehenden Verhältnisse früh die wissenschaftliche Laufbahn. Die Wirtschaft profitiert von diesem Trend, da ihr Mitarbeiter mit einem hohen akademischen Ausbildungsgrad und intellektuellem Potential zugeführt werden. Zumindest muss man feststellen, dass es wegen der schlechten Karriereaussichten in der Wissenschaft in keiner Weise garantiert ist, dass die größten Talente in der Wissenschaft verbleiben.

Zeitskalen in der Grundlagenforschung

In der Gesellschaft und insbesondere in der Politik herrscht ein mangelndes Verständnis davon, auf welchen Zeitskalen sich der wissenschaftliche Wandel vollzieht. Wenn es um die wirklich schwierigen Fragestellungen in den Naturwissenschaften und in der Technik geht, so ist deren Lösung in der

Regel nur auf Zeitskalen von mehreren Dekaden möglich. Vergleicht man dies mit dem Aufstieg auf den Mount Everest, so sind mehrere Etappen mit mehreren Lagern notwendig, um den Aufstieg zu vollziehen. Dabei kann es durchaus sein, dass mehrere Generationen von Wissenschaftlern notwendig sind, die jeweils auf dem Wissen und auf den Vorarbeiten der vorherigen Generation aufbauen. Zusammengefasst wird diese Erkenntnis in dem Gleichnis von den „Zwergen auf den Schultern von Riesen“ [25]. Auch wenn es einem selbst als Wissenschaftler nicht vergönnt ist, auf den Gipfel zu gelangen, so kann man doch einen notwendigen Beitrag leisten, damit dies den nachfolgenden Wissenschaftlergenerationen gelingt. Leider sind Ausdauer und Geduld zunehmend rare Güter in unserer schnelllebigen Zeit geworden. Dabei wird für die junge Wissenschaftlergeneration der Weg zum Gipfelaufstieg mit dem Errichten jedes neuen Zwischenlagers, das passiert werden muss, entsprechend verlängert.

Es ist daher unumgänglich, dass eine kontinuierliche Förderung der Wissenschaft gewährleistet wird und dies, wie oben begründet, zu einem erheblichen Teil durch eine solide Grundfinanzierung geschieht. Nur dann schafft man die Voraussetzungen dafür, dass die schwierigen und bedeutungsvollen Fragen in der Wissenschaft angegangen werden, die den wissenschaftlichen Fortschritt garantieren. Zwei besonders schöne Beispiele hierfür sind die Entwicklung der Lithiumionen-Batterie und die der weiß leuchtenden LED, deren Entwicklung mehrere Jahrzehnte dauerte und von mehreren Wissenschaftlern vorangetrieben wurde. Ohne die Lithiumionen-Batterie wäre die Elektromobilität kaum denkbar und ohne die weiß leuchtende LED gäbe es keine sparsamen LED-Leuchtmittel. Beide sind schöne Beispiele dafür, dass sich die Förderung der Grundlagenforschung über einen langen Zeitraum letztendlich für die Gesellschaft rentiert. Es ist daher reines Wunschdenken, wenn man meint, dass die technischen Voraussetzungen für eine Umstellung der Energieversorgung auf Nachhaltigkeit innerhalb von wenigen Jahren geschaffen werden könnten. Die Speichertechnologien für Energie im großen Maßstab haben einen Forschungsrückstand von vielen Jahren und hätten vorzugsweise parallel zur EEG-Umlage seit 30 Jahren massiv durch Forschungsvorhaben gefördert werden müssen.

Die Kernfusion ist ein Musterbeispiel für einen hochkomplexen Forschungsgegenstand, der nur auf einer Zeitskala von 100 Jahren Forschung in eine technische Anwendung überführt werden kann, aber erheblichen Nutzen verspricht. Sie hat das Potential, einen wesentlichen Beitrag zum zukünftigen Energiemix beizutragen, da sie wie die Kernspaltung CO_2 -emissionsarm ist, eine hohe Leistungsdichte hat und im Grundlastbetrieb eingesetzt werden kann. Zudem hat die Kernfusion gegenüber der Kernspaltung die Vorteile, dass sie grundsätzlich nicht zu einer Kernschmelze führen kann und nur radioaktiven Abfall mit vergleichsweise geringer Halbwertszeit produziert. Kurioserweise wird die nun bereits seit 70 Jahren andauernde Erforschung der Kernfusion von verschiedenen Seiten kritisch betrachtet. Dabei hat es auf diesem Gebiet große Fortschritte gegeben [26, 27].

Da der Umstieg auf regenerative Energieträger innerhalb der nächsten 20–30 Jahre erfolgen muss, um die Erderwärmung auf zwei Grad zu begrenzen, wird neuerdings das Argument ins Feld geführt, dass die Kernfusion, sollte sie denn realisiert werden, letztendlich zu spät käme. Dieses Argument ist nicht stichhaltig, da man aus dem Umstand, dass etwas in einem bestimmten Zeitraum gelingen muss, nicht schließen kann, dass es gelingen wird. Es ist sehr fraglich, ob die „Energiewende“ weltweit noch rechtzeitig realisiert werden kann. Ein sich Verzögern bzw. Scheitern wäre aus verschiedenen Gründen denkbar. In diesem Fall wäre ein Wiedererstarken der Nutzung der Kernspaltung unvermeidbar, es sei denn, die Kernfusion stünde als alternative Energieerzeugung zur Verfügung. Sollte zudem der Energieverbrauch trotz der Bemühungen zur Einsparung auch langfristig weiter ansteigen, so kann man sich glücklich schätzen für jeden weiteren CO_2 -emissionsarmen Energieträger, der einsatzfähig ist.

Zusammenfassung

Die globale „Energiewende“ muss aus zwei gewichtigen Gründen durchgeführt werden. Zum einen werden die fossilen Energieträger nur noch einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung stehen und zum anderen führt ihre Verbrennung zur Emission von CO₂ und damit zum anthropogenen Treibhauseffekt. Leider hat die „Energiewende“ in Deutschland zum jetzigen Zeitpunkt drei gravierende Schwachstellen. Erstens ist die Problematik der Speicherung der Energie aus Windenergie und Photovoltaik technisch noch nicht zufriedenstellend gelöst. Zweitens fokussiert sich die „Energiewende“ bei der CO₂-Einsparung in Deutschland bisher auf die Stromproduktion und damit auf nur ein Fünftel des Endenergieverbrauchs. Die Windenergie und Photovoltaik haben zusammen aktuell einen Anteil von nur 6 % am Endenergieverbrauch. Es handelt sich somit bisher um eine „Stromwende“, so dass der dominante Anteil der „Energiewende“ trotz erheblicher Zuwendungen aus der EEG-Umlage über einen Zeitraum von 30 Jahren noch nicht stattgefunden hat. Drittens beträgt die CO₂-Emission Deutschlands im Jahr 2019 global nur 1,8 % [28], d.h. mit dem Vollziehen der „Energiewende“ in Deutschland ist das globale Problem des anthropogenen Treibhauseffekts nicht ansatzweise gelöst. Nur für den Fall, dass sich die deutsche „Energiewende“ in einem globalen Maßstab umsetzen lässt, kann sie als Blaupause dienen. Ob dies gelingen wird, ist zweifelhaft, da es durch die Fokussierung auf Windenergie und Photovoltaik zu einem erheblichen Verbrauch an Rohstoffen kommt, der global nicht zu finanzieren sein wird. Es besteht daher nach wie vor ein ausgeprägter Forschungsbedarf, um die technischen Grundlagen für die „Energiewende“ zu verbessern.

Die Bestandsaufnahme der Strukturen in der Wissenschaft hat gezeigt, dass wir nicht gut aufgestellt sind, um die wichtigen Forschungsvorhaben anzugehen, die insbesondere im Zuge der „Energiewende“ anstehen. Die wissenschaftlichen Führungskräfte sind chronisch überlastet, der akademische Mittelbau, der Kontinuität gewährleisten könnte, ist in den letzten Jahrzehnten Einsparungsmaßnahmen zum Opfer gefallen und die Postdoktoranden, die den Mittelbau ersetzen sollen, „hangeln“ sich von einem Zeitvertrag zum nächsten. Man kann nicht erwarten, dass die Postdoktoranden mit einem typischen Zeithorizont von zwei bzw. drei Jahren auf ihrer zeitlich befristeten Stelle schwierige Forschungsthemen angehen werden.

Zum Glück gibt es immer noch vereinzelt Wissenschaftler mit zeitlich befristeten Arbeitsverträgen, die erhebliche berufliche Risiken auf sich nehmen und einen Großteil ihrer Freizeit opfern, um sich trotz der bestehenden Verhältnisse in schwierige wissenschaftliche Problemstellungen einzuarbeiten. Quantitativ mag der Wissenszuwachs durchaus noch gegeben sein, aber ob es um den qualitativen Zuwachs gut bestellt ist, der mit dem Lösen von schwierigen bis schwierigsten wissenschaftlichen Fragestellungen einhergeht, ist durchaus kritisch zu bewerten. Auch darf nicht verkannt werden, dass dem Wissenschaftssystem eine große zeitliche Trägheit innewohnt, so dass die Defizite, die sich bereits aufgebaut haben, erst mit Verzögerung ihre Wirkung entfalten werden.

Dies ist insbesondere deshalb beunruhigend, da wir bei der Transformation unserer Gesellschaft in Richtung Nachhaltigkeit auf die wissenschaftliche Forschung und Technik zwingend angewiesen sind. Es herrscht leider in weiten Teilen der Gesellschaft der Irrglaube, dass die „Energiewende“ technisch bereits realisierbar sei. Es handelt sich hierbei um eine Fehleinschätzung, solange nicht die entsprechenden Energiespeicher für die regenerativen Energieformen bzw. eine CO₂-arme Grundlastkraftwerkalternative entwickelt bzw. umgesetzt worden sind. Zudem wird die Größe der involvierten Zeitkonstanten in der Grundlagenforschung und bei der technischen Realisierung von den politischen Akteuren systematisch unterschätzt. Dabei läuft uns wegen der durch die anthropogene CO₂-Emission bedingten Erderwärmung zunehmend die Zeit davon – Zeit, die in der Größenordnung von Jahrzehnten in der Grundlagenforschung nötig gewesen wäre. Ob die „Energiewende“ in dem vorgegebenen Zeithorizont von 20–30 Jahren noch zu realisieren ist, bleibt fraglich. Es müssen daher neben den regenerativen Energieträgern auch andere CO₂-emissionsarme Energiekonzepte,

wie z.B. die Kernfusion weiter erforscht werden, um zumindest langfristig einen Plan B *in petto* zu haben.

Schlussbemerkung

In der öffentlichen Wahrnehmung herrscht leider der Glaube, dass die Gesellschaft nur ökonomische Ressourcen zur Verfügung stellen müsse, um die benötigten Windenergie- und Photovoltaikanlagen zu installieren. Den Rest würden die Wissenschaft und Wirtschaft schon erledigen. Dabei werden zwei Dinge übersehen:

Zum einen sind die Wissenschaftler nicht die „Masters of the Universe“. Sie können nur im Buch der Schöpfung lesen, es aber nicht umschreiben, da die Naturgesetze unverhandelbar sind. Man kann diesen Umstand nur demütig akzeptieren. Dies mag für die Gesellschaft schwer verständlich sein, da es im Sozialverhalten des Menschen liegt, zu verhandeln bzw. seinen Forderungen durch aggressives Verhalten Gehör zu verschaffen. Man muss sich die Größenordnung des weiter steigenden globalen Endenergieverbrauchs von ca. 480 Exajoule/Jahr im Jahr 2020 [29] bewusst machen,¹² um zu begreifen, was für eine Herausforderung es für die Wissenschaft und Technik darstellt, diesen dauerhaft zu befriedigen. Momentan sind wir dazu nur in der Lage, da die Menschheit Raubbau an den Ressourcen der Erde betreibt, und nicht, weil die entsprechenden Techniken für eine nachhaltige Energieproduktion bereits entwickelt worden wären.

Zum anderen wird übersehen, dass die „Energiewende“ ohne einen grundsätzlichen Wandel der westlichen Lebensgewohnheiten nicht zu bewerkstelligen sein wird. Bisher wurde jeglicher Effizienzgewinn in der Energiegewinnung durch gestiegene Ansprüche kompensiert bzw. überkompensiert. Die Autos sind größer und damit schwerer geworden, die Bildschirmdiagonalen der Fernsehapparate haben stetig zugenommen, die Reiseziele sind exotischer¹³ geworden und der Wohnraumbedarf pro Person wächst beständig. Man kann noch viele weitere Beispiele anführen. Als Folge davon nimmt der globale Energieverbrauch weiterhin stetig zu.

Dabei ist das tatsächliche Problem noch weitaus größer, da auch die Rohstoffreserven beständig zur Neige gehen und das globale Ökosystem systematisch geschädigt wird. Die „Energiewende“ stellt somit nur einen Aspekt einer umfassenden Nachhaltigkeitsdebatte dar. Es führt langfristig kein Weg an geschlossenen Rohstoffkreisläufen und an der Suffizienz – einem geringeren Verbrauch an Ressourcen wie Energie und Material – vorbei. Ob dies gesellschaftspolitisch gelingt, ist fraglich. Zum einen ist unser Finanzsystem zur Erwirtschaftung des Zinses auf eine exponentiell wachsende Wirtschaft angewiesen. Zum anderen hat sich die westliche Gesellschaft an eine stetige Zunahme des Wohlstands gewöhnt. Das vorherrschende Motto ist „Anything goes“ und nicht die selbstbestimmte Beschränkung des Konsums. Das Kernproblem ist, dass sich die Folgen des globalen Raubbaus an den Ressourcen der Erde nur mit großer Verzögerung manifestieren. Wir hinken bereits jetzt einem generellen Umsteuern Jahrzehnte hinterher. Das Tragische daran ist, dass es sich nicht um ein Erkenntnisdefizit in der Vergangenheit handelt hat.

Mit dem Sichtbarwerden der Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts wird die öffentliche Debatte um die „Energiewende“ zunehmend emotional geführt. Dies ist bedauerlich, da die „Energiewende“ zwar gesellschaftlicher Akzeptanz bedarf, aber im Kern ein naturwissenschaftliches Problem darstellt. Bei ihrer Umsetzung sollte man sich daher von Rationalität und nicht von moralischer Überheblichkeit leiten lassen. Letztendlich benötigen wir die Kooperation aller gesellschaftlichen Kräfte, um die „Energiewende“ zum Erfolg zu führen.

¹²Dies ist das 25-fache des Grundumsatzes, d.h. des Ruheenergiebedarfs aller Menschen: $(480 \cdot 10^{18} \text{ J/Jahr}) / (6,7 \text{ MJ}/(\text{Tag Mensch}) 365 \text{ Tag } 8 \cdot 10^9 \text{ Mensch}) \approx 25$ mit $6,7 \text{ MJ} \hat{=} 1600 \text{ kcal}$.

¹³Dazu gehört neuerdings auch der nahe Weltraum.

Literatur

- [1] Seite „Energiewende“, In: Wikipedia – Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 26. Dezember 2021, 12:57 UTC, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Energiewende&oldid=218507042>, (Abgerufen: 27. Dezember 2021, 11:06 UTC).
- [2] Seite „Infografik – Energiedaten und -szenarien“, In: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Bearbeitungsstand: 22. Januar 2022, 12:30 UTC, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/Energiedaten/Energiegewinnung-und-Energieverbrauch/energiedaten-energiegewinnung-verbrauch-08.html>
- [3] Grünwald, R. and Caviezel, C. (2017), *Lastfolgefähigkeit deutscher Kernkraftwerke*, In: TAB-Hintergrundpapier **21**, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000102277/121070976>
- [4] Seite „Pumpspeicherkraftwerk“, In: Wikipedia – Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 26. April 2022, 10:12 UTC, https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherkraftwerk#Deutschland_2, (Abgerufen: 8. Mai 2022, 13:16 UTC).
- [5] „Zur Umsetzung der Energiewende im Hinblick auf die Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit bei Elektrizität“, Sonderbericht des Bundesrechnungshofs, 30.03.2021, https://www.bundesrechnungshof.de/de/veroeffentlichungen/produkte/sonderberichte/2021/bund-steuert-energie-wende-weiterhin-unzureichend/@@download/langfassung_pdf
- [6] Seite „Turbinen schwächen die Windenergie“, Max-Planck-Gesellschaft, Bearbeitungsstand: 28. August 2015, <https://www.mpg.de/9379767/windenergie-wind-strom>, (Abgerufen: 30. Dezember 2021, 14:28 UTC).
- [7] IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- [8] „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 28. September 2010, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.html>
- [9] Seite „Altmaier legt erste Abschätzung des Stromverbrauchs 2030 vor“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Bearbeitungsstand: 13. July 2021, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/07/20210713-erste-abschaetzungen-stromverbrauch-2030.html>, (Abgerufen: 23. Januar 2022, 14:28 UTC).
- [10] Seite „Erneuerbare Energien“, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>, (Abgerufen: 27. Dezember 2021, 14:50 UTC).
- [11] David J.C. Mackay (2009), *Sustainable Energy – Without the Hot Air*, UIT Cambridge Ltd., Cambridge, S. 263, <https://www.withouthotair.com/>
- [12] Seite „Erneuerbare Energien in Zahlen“, Umwelt Bundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen>

- [13] Seite „Bruttostromerzeugung in Deutschland“, Statistisches Bundesamt, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html;jsessionid=240E21201F8E504CD2D74CC1FD88981E.live721>, (Abgerufen: 21. März 2022, 18:17 UTC).
- [14] Seite „Informationsplattform der Übertragungsnetzbetreiber“, Aktuelle Angaben der Übertragungsnetzbetreiber zu den Einnahmen- und Ausgabenpositionen nach § 3 (1) EEAV, https://www.netztransparenz.de/portals/1/Aktuelle_Daten_zu_den_Einnahmen-_und_Ausgabenpositionen_nach_EEAV_Dezember_2020.pdf, (Abgerufen: 21. März 2022, 17:23 UTC).
- [15] Niklas Záboji (2021, 12. Januar), *Ökostromförderung erreicht Rekord* FAZ.NET, <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-nachhaltigkeit/30-9-milliarden-euro-oekostromfoerderung-erreicht-rekord-17141915.html>
- [16] Seite „EEG in Zahlen: Vergütung, Differenzkosten und EEG Umlage 2000 bis 2022“, In: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Bearbeitungsstand: 15. Oktober 2021, 12:30 UTC, <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/eeg-in-zahlen-xls.html>, (Abgerufen: 21. März 2022, 18:01 UTC).
- [17] Friedrich Wagner (2016), *Surplus from and storage of electricity generated by intermittent sources*, The European Physical Journal Plus **131**: 445, https://epjplus.epj.org/articles/epjplus/abs/2016/12/13360_2016_Article_1431/13360_2016_Article_1431.html
- [18] „Erste positive Erfahrungen beim Einsatz von Phasenschiebertransformatoren“, 50Hertz, Pressemitteilung, 29.08.2018, <https://www.50hertz.com/de/News/Details/id/5824/erste-positive-erfahrungen-beim-einsatz-von-phasenschiebertransformatoren>
- [19] Seite „Power-to-Gas“, In: Wikipedia – Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 10. Januar 2022, 14:51 UTC, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Power-to-Gas&oldid=219011821>, (Abgerufen: 30. Januar 2022, 10:43 UTC).
- [20] Jens Beckert (2018), *Imaginierte Zukunft: Fiktionale Erwartungen und die Dynamik des Kapitalismus*, Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- [21] IEA (2021), *Net Zero by 2050*, IEA, Paris, S. 16, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- [22] Mario Birkholz (2022), *Dem Zufall eine Chance geben*, Physik Journal **21** Nr. 2, S. 3.
- [23] Gerald Wagner (2021, 25. Februar), *Wanderarbeiter der Wissenschaft* FAZ.NET, <https://www.faz.net/aktuell/karriere-hochschule/max-planck-gesellschaft-und-die-politik-der-befristeten-vertraege-17211759.html>
- [24] Ariane Leendertz (2020), *Wissenschaftler auf Zeit – Die Durchsetzung der Personalpolitik der Befristung in der Max-Planck-Gesellschaft seit den 1970er-Jahren*, MPIfG Discussion Paper **20/15**, https://pure.mpg.de/rest/items/item_3275331_8/component/file_3275332/content
- [25] Seite „Zwerge auf den Schultern von Riesen“, In: Wikipedia – Die freie Enzyklopädie, Bearbeitungsstand: 21. November 2021, 13:54 UTC, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?>

title=Zwerge_auf_den_Schultern_von_Riesen&oldid=217469650, (Abgerufen: 29. Dezember 2021, 11:56 UTC).

- [26] „Wendelstein 7-X erreicht Weltrekord“, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Presseinformation PI 4/18, 25.06.2018, https://www.ipp.mpg.de/4413381/04_18.pdf
- [27] „European researchers achieve fusion energy record“, EUROfusion, Pressemitteilung, 09.02.2022, <https://www.euro-fusion.org/de/news/2022/european-researchers-achieve-fusion-energy-record/>
- [28] European Commission, Joint Research Centre, Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., et al., *Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries: 2020 report*, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/56420>
- [29] BP (2022), *bp Energy Outlook: 2022 edition*, S. 16, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2022.pdf>