

Die e-Wende

– Wie die Energiewende gelingt –

Prof. Dr. Robi Banerjee

2022

Die vollständige Umstellung der deutschen Wirtschaft auf erneuerbare Energien in überschaubarer Zeit ist realistisch und könnte sogar günstiger ausfallen als erwartet. Die Herstellung der nötigen Infrastruktur dürfte nur etwa ein Drittel des derzeitigen jährlichen Bruttoinlandsprodukts kosten. Erforderlich ist dafür ein beschleunigter Ausbau von Windkraft und Photovoltaik, während die direkten und indirekten Subventionen für fossile Energieträger abgeschafft werden müssen.

Eine sektorübergreifende Lösung zur Versorgung mit Wind- und Sonnenenergie steht mit der Wasserstofftechnologie schon zur Verfügung. Wasserstoff, gewonnen aus grünem Strom, ist ein idealer und einfach zu erzeugender Energieträger, der sowohl als Energiespeicher zur Versorgungssicherheit sowie in den Sektoren Transport und Industrie eingesetzt werden kann.

Um alle Sektoren mit erneuerbarer Energie zu versorgen, ist Wasserstoff der ideale Energieträger.

Für den Umstieg in die „e-Mobility“ ist der Brennstoffzellen-Antrieb die Technik der Wahl, also die Nutzung von Wasserstoff für den elektrischen Antrieb von Autos und Transportfahrzeugen. Im Gegensatz zu einem hartnäckig sich haltenden Gerücht ist die Brennstoffzellentechnik erprobt, sicher und ausgereift; die Preise solcher Fahrzeuge werden bei Großserienproduktion stark sinken. Ihr großer Vorteil gegenüber normalen Autos mit Elektroantrieb ist die deutlich größere Reichweite. Die Energiewende benötigt außerdem Energiespeicher im großen Maßstab – auch hierfür eignet sich Wasserstoff besonders gut.

Der menschengemachte Klimawandel ist die größte Krise unserer Zeit, da dieser die Lebensbedingungen auf unseren gesamten Planeten dramatisch verändert. Dies betrifft sowohl die klimatisch-geographischen und -biologischen Bedingungen als auch die sozialen, gesellschaftlichen und politischen Strukturen weltweit. Dem Klimawandel entgegenzuwirken ist daher die dringlichste Aufgabe unserer Zeit. Wie der Klimawandel einzuhegen ist, liegt auf der Hand: Wir müssen aufhören die Erdatmosphäre mit weiteren Treibhausgasen zu belasten, die wir durch unseren komfortablen Lebenswandel generieren.

Diese Transformation muss auch noch sehr kurzfristig vollzogen werden. Auf den ersten Blick eine Herkulesaufgabe. Aber nun die **gute Nachricht**: Es ist kein Problem, den gesamten Energiebedarf der Menschheit mit erneuerbarer Energie zu decken: und zwar dank der Energie der **Sonne**. Sie bestrahlt unseren Planeten mit einer Leistung von 174 Millionen Gigawatt¹ und versorgt somit die Erde mit der Energie von 5,5 Milliarden Petajoule im Jahr: etwa **11.000-mal mehr**, als die Menschheit benötigt, denn der Weltprimärenergiebedarf liegt bei jährlich 505 Tausend Petajoule; durchschnittlich benötigt die Weltbevölkerung somit 16 Tausend Gigawatt. **Die Sonne deckt den Weltenergiebedarf eines Jahres also in weniger als**

¹dies ergibt sich aus der Solarkonstanten (1,37 kW/m²) und der Kreisfläche der Erde von 127,4 Mio. km².

50 Minuten. Wir müssen sie uns nur zunutze machen. Die Sonne erzeugt überdies auch den Wind, so dass wir viele Möglichkeiten haben, die Sonnenenergie zu nutzen: mit Solarthermie, Photovoltaik (PV), Windenergieanlagen und anderen Verfahren. Die Technik dafür steht – auch wenn mitunter ein anderer Eindruck vermittelt wird – schon seit langem bereit, nur die politischen Rahmenbedingungen halten uns davon ab, diese einzusetzen.

Am Beispiel der Bundesrepublik lässt sich die Situation deutlich aufzeigen – und das, was nun zu tun ist.

Energiemix noch zu 85 Prozent schädlich

In Deutschland haben wir einen Primärenergiebedarf von ca. 13.000 Petajoule (= 3,6 Billionen Kilowattstunden). Dies entspricht einem durchschnittlichen Leistungsbedarf von ca. 409 Gigawatt ². Damit ist aber auch tatsächlich jeglicher Energiebedarf aller Branchen und Verbraucher abgedeckt, also Industrie, Handel, Handwerk und Haushalte, außerdem Transport, Mobilität, Produktion, Wärme und Strom. Im Übrigen ist unser Energiebedarf weit überdurchschnittlich: Obwohl wir nur 1 Prozent der Weltbevölkerung ausmachen, benötigen wir 2,5 Prozent des globalen Energiebedarfs. Leider wird dieser Energiebedarf zu über 85 Prozent aus nicht erneuerbaren und umweltschädlichen Energiequellen generiert ³. Der Gesamtenergiebedarf sollte noch in Relation zur Stromerzeugung betrachtet werden, da dies der Sektor ist, mit dem man meist die Energiewende verbindet: Der Strombedarf macht bisher nur etwa 18 Prozent des Primärenergiebedarfs aus (640 Milliarden Kilowattstunden oder 73 Gigawatt durchschnittliche Leistung). Derzeit wird nur knapp ein Fünftel unseres Energiebedarfs elektrisch gedeckt. Langfristig werden dies aber 100 Prozent sein.

Die Sonne liefert alleine bezogen auf die Fläche der Bundesrepublik eine durchschnittliche Leistung von 46.000 Gigawatt ⁴ – also weit über hundertmal mehr, als benötigt wird, um das gesamte Land am Laufen zu halten! Trotz hohem Energiebedarf haben wir also glücklicherweise eine extrem zuverlässige und (für menschliches Ermessen) unerschöpfliche Energiequelle: **die Sonne**. Wir müssen diese Energiequelle nur effektiv anzapfen. Nicht zu vergessen ist, dass die Sonne auch der „Generator“ des **Windes** ist und daher auch mit Windmühlen „angezapft“ werden kann.

Sonneneinstrahlung direkt nutzen

Ein paar Rechenbeispiele für die Bundesrepublik: Der Wirkungsgrad der Photovoltaik (PV) liegt bei rund 20 Prozent. Um den Energiebedarf komplett mit Photovoltaik zu decken, würden in Deutschland etwa 4,4 Prozent der Landfläche benötigt, rund 16.000 Quadratkilometer. Zum Vergleich: Im Jahr 2011 waren 6,2 Prozent der Fläche der Bundesrepublik versiegelt, also undurchlässig bebaut. Man bräuchte also weniger als 70 Prozent der schon versiegelten Fläche (etwa Straßen, Lagerhallen und Häuser), um den Energiebedarf aus PV zu decken. Hier noch nicht eingerechnet sind die zusätzliche Energieeffizienz und Einsparungen, die sich zwangsläufig ergeben werden, da strombasierte Technik wesentlich effizienter ist als Verbrennungstechnik – mehr dazu später.

Wind: Sonnenenergie in anderer Form

Nun die gleiche Rechnung mit Wind. Neueste Offshore-Windparks wie der Windpark Arkona in der Ostsee haben eine installierte Leistung von 385 Megawatt auf einer Fläche von 37 Qua-

²Quelle: Umweltbundesamt, Werte für 2018

³Quelle: Umweltbundesamt für 2018, 80 % aus Kohle, Mineralöl und Erdgas, 6 % aus Kernenergie

⁴bei einer durchschnittlichen Leistung von 130 W/m² (vgl. 1367 W/m² bei Idealbedingung); eine vergleichbare Leistungsdichte liegt in Form von Wind vor, der auch von der Sonne erzeugt wird.

dratkilometern (60 Anlagen mit je 6,4 MW). Das heißt: Man generiert auf einer Fläche von einem Quadratmeter mehr als 10 Watt Leistung⁵. Umgerechnet auf den Leistungsbedarf des ganzen Landes (409 Gigawatt) bräuchte man eine Offshore-Fläche von 39.000 Quadratkilometern. Dies ist etwas mehr als die Fläche von Nordrhein-Westfalen (34.100 Quadratkilometer). Aber diese Meeresgebiete sind ja nicht komplett verbaut, sondern die Mühlen haben einen Abstand von knapp 800 Metern. Um den Primärenergiebedarf zu decken, werden nominal circa 64.000 Mühlen benötigt. Das sind in etwa nur doppelt so viele Anlagen, wie gegenwärtig an Land (onshore) installiert sind (2019: onshore circa 30.000, offshore: 1350⁶). Obwohl man von einer Effizienz von fast 50 Prozent ausgehen kann, wird man bei der Umstellung auf eine **strombasierte Wirtschaft (e-Wirtschaft)** nicht zweimal so viele Anlagen benötigen, da eine „Stromwirtschaft“ wesentlich effizienter ist als die gegenwärtige Wirtschaft, die sich größtenteils durch Verbrennung von Kohle, Öl und Gas versorgt – dies zeigt zum Beispiel der Vergleich von Elektromotor und Verbrennungsmotor. Effizienzsteigerungen bei dieser Umstellung von mehr als 50 Prozent sind durchaus realistisch, insbesondere wenn man beachtet, dass schon gegenwärtig der Endenergiebedarf bei 70 Prozent des Primärenergiebedarfs liegt (Endenergiebedarf: 9200 Petajoule, bzw. Leistungsbedarf 292 Gigawatt). Die 30 Prozent Differenz erklären sich durch Energieverluste bei der Energiewandlung – zum Beispiel bei der Stromherstellung aus Kohle oder Gas – und durch Übertragungs- und Wärmeverluste. Weiterhin werden zukünftige Windkraftanlagen mit Leistungen von mehr als 10 Megawatt installiert werden (z.B. Siemens Gamesa oder Vestas V164-10MW), sodass insgesamt weniger als 40.000 Anlagen erforderlich wären. **Interessant:** Die Fläche der ausschließlichen Wirtschaftszone (**AWZ**), d.h. das Hoheitsgebiet der Bundesrepublik ausserhalb der 12-Meilen-Zone von ca. 33.000 Quadratkilometern, ist bei weitem ausreichend, um den gesamten Energiebedarf Deutschlands zu decken. Dort lassen sich weit mehr als 300 Gigawatt Windleistung installieren (2019: erst 7,5 GW).

e-Mehrwert: weniger Lärm, bessere Luft

Diese Beispiele zeigen, dass eine komplette Umstellung auf Sonnenstrom auch für Deutschland ohne Probleme technisch möglich ist. Die Sonne liefert mehr als genug für jeden von uns einschließlich unserer Industrie und Verkehr! Natürlich ist eine einseitige Technik, um die Energie der Sonne in Strom zu wandeln (nur PV oder nur Windkraft) nicht sinnvoll. Aber tatsächlich reicht ein guter Mix aus Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft sowie Biogasanlagen aus, um die vollständige Energiewende umzusetzen hin zur e-Wirtschaft, einer Wirtschaftsform, die nahezu vollständig auf Strom als Primärenergieträger umgestellt ist! Die zahlreichen Vorteile und die wesentliche Verbesserung der Lebensqualität (unter anderem: kein CO₂-Ausstoß, weniger Umweltbelastungen, Effizienzsteigerungen, weniger Lärm, keine Abgase) sind ein weiterer Grund, die e-Energiewende schnellstmöglich zu realisieren.

Was machen, wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht bläht?

Die bewährte Wasserstofftechnologie

Die Stromerzeugung mit Hilfe der Sonne ist tages-, witterungs- und ortsabhängig. Die Homogenisierung – Pufferung zwischen Spitzen und Tiefs bei Stromerzeugung und -verbrauch – ist bei dieser variablen Stromerzeugung der entscheidende Faktor für die Umsetzung der Energiewende. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist natürlich ein dichtes Stromtrassennetz, das entsprechend robust und intelligent gesteuert ist. Zusätzlich benötigen wir aber noch flexibel

⁵Leistungstärkere Anlagen erreichen ein wesentlich besseres Verhältnis. Zum Beispiel erzielt der geplante Nordsee-Windpark EnBW "He Dreht" mit seinen 90 10-MW-Windanlagen auf einer Fläche von 60 km² ein Leistungsflächenverhältnis von 15 W/m² (= 15 MW/km²).

⁶Quelle: Bundesverband Windenergie

einsetzbare Energieträger, vor allem für den Mobilitäts- und Transportbereich, sowie zur kurz- und längerfristigen Speicherung. Hierfür ist das leichteste und häufigste Element im Universum der perfekte Stoff: **Wasserstoff** (hier in Form des leichtesten Moleküls H_2). Wasserstoff (H_2) lässt sich einfach durch **Elektrolyse** aus Wasser (H_2O) mit Hilfe von Strom gewinnen. Die Elektrolysetechnik ist lange bekannt und technisch ausgereift. Anlagen im Megawatt-Bereich sind seit einiger Zeit verfügbar. Wasserstoff ist durch diesen Prozess nicht nur nahezu in unerschöpflichen Mengen vorhanden, es hat auch noch die größte Energiedichte von allen bekannten Energieträgern, nämlich 33,5 Kilowattstunden pro Kilogramm. Erdgas hat 13,8 und Diesel nur 11 Kilowattstunden pro Kilogramm. Diese Eigenschaften machen Wasserstoff zum idealen, vielfältig einsetzbaren Energieträger.

Natürlich hat auch Wasserstoff einen Nachteil: Er ist unter Normaldruck (1 Bar) recht voluminös (nur 90 Gramm/Kubikmeter), so dass man ihn komprimieren muss, um ihn sinnvoll zu transportieren und zu speichern. Aber auch das ist heutzutage kein Problem. Gängige Gasflaschen mit einem Druck von 30 Bar (30-facher Atmosphärendruck) gibt es auch für Wasserstoff⁷. Damit reduziert sich das Volumen entsprechend. Oder Wasserstofftanks für Pkws: In ihnen wird der Wasserstoff mit 700 Bar gespeichert, so dass man leicht einige Kilogramm Wasserstoff im Auto mitführen kann, was wiederum leicht für 600 Kilometer Reichweite genügt; in Lkws werden die Tanks mit 350 Bar befüllt.

Wie bekomme ich aus meinem Wasserstoff wieder Energie? Wasserstoff selbst ist wiederum vielseitig einsetzbar. Man könnte Wasserstoff verbrennen wie Erdgas und damit Verbrennungsmotoren oder Heiz- und Stromkraftwerke betreiben. Regelmäßig ist aber die Effizienz von Verbrennungsprozessen geringer als die Rückgewinnung von Strom mit einer **Brennstoffzelle** und die anschließende Nutzung des Stroms (z.B. Betreiben eines Elektromotors). In beiden Fällen ist das „Abgas“ nur **Wasser**, also wieder H_2O und damit völlig CO_2 -frei. Auch die Brennstoffzellentechnik ist ausgereift (bereits die Apollo-Raumschiffe in den 1960er Jahren wurden mit Brennstoffzellen betrieben). Indem mehrere Brennstoffzellen hintereinandergeschaltet werden, lässt sich die Leistung beliebig skalieren. Somit lohnt sich ein Wasserstoff-System auch für den Hausbesitzer mit einer PV-Anlage auf seinem Dach. Der Strom, der im Sommer im Überfluss erzeugt wird, kann in Form von Wasserstoff gespeichert werden und im Winter zum Betrieb der elektrischen Heizung wieder verwendet werden.

Wasserstoff: der ideale Energiespeicher

Wasserstoff eignet sich auch hervorragend als Energiespeicher (wie Erdgas, nur ohne schädliche Treibhausmissionen bei der Verbrennung). Wasserstoff kann beispielsweise in das bestehende Gasnetz (circa 500.000 Kilometer Gasleitungen in der Bundesrepublik) eingespeist werden. Zur Erinnerung: Das bis Ende der 90er verwendete Stadtgas hatte einen Anteil von bis zu 60 Prozent Wasserstoff! Heute dürfen aus gesetzlichen Gründen (nicht aus technischen) nur fünf bis zehn Prozent in die Leitungen eingespeist werden.

Betrachten wir den Speicherbedarf für eine kontinuierliche Stromversorgung aus Wind und Photovoltaik. Zunächst wird es sinnvoll sein, an jeder Anlage eine Wasserstoff-Speicherkapazität vorzuhalten, um ein bis zwei Tage der Spitzenleistung zu puffern. Für eine Megawatt-Anlage benötigt man dann einen Speicher für ca. eine Tonne H_2 , die man z.B. einfach in Gasdruckflaschen lagern kann. Mit solchen lokalen Puffern lässt sich bereits der Großteil der Erzeugungsschwankung ausgleichen, um eine stetige Stromversorgung zu gewährleisten.

Natürlich ist es auch notwendig, große Speicherkapazitäten vorzuhalten und so die Energieversorgung für eine Woche zu garantieren, wenn deutschlandweit kein Strom mit Wind oder

⁷U.a. bietet die Firma Linde auch gebräuchliche Wasserstoff-Gasflaschen bei 200 Bar Fülldruck an.

Sonneneinstrahlung erzeugt werden kann. Hierfür müsste man circa 2 Millionen Tonnen Wasserstoff speichern. Wird der gasförmige Wasserstoff nicht komprimiert, entspricht dies einem Volumen von 24 Milliarden Kubikmetern. Dies ist genau die vorhandene Speicherkapazität für Erdgas in Deutschland, die durch Kavernen und Porenspeicher zur Verfügung steht ⁸. Natürlich lassen sich in den Kavernen durch Verdichtung noch wesentlich mehr Tonnen Wasserstoff speichern (zum Beispiel das 30-Fache bei 30 Bar). Fazit: Mit Wasserstoff lässt sich die Stromproduktion aus Sonnenenergie relativ einfach homogenisieren und ist gleichzeitig ein idealer Energieträger für die Sektorkopplung – die Verschränkung von Strom, Wärme, Mobilität und Industrieabläufen zur Senkung von Kohlenstoffdioxidemissionen – im Bereich von Mobilität, Transport und Wärme.

Transport & Verkehr: e-Mobility

Kaum zu glauben: Die ersten Automobile Anfang des 20. Jahrhunderts fuhren mit einem **Elektromotor**! Leider haben sich aber die Verbrennungsmotoren (Otto und Diesel) als Antrieb durchgesetzt. Im Grunde sind diese Verbrennungsmotoren im Vergleich zum Elektromotor jedoch technischer Wahnsinn: Man versucht, eine kontrollierte Explosion unter der Motorhaube am Laufen zu halten und benötigt eine Unmenge komplexer Komponenten: unter anderem Zylinder, Pleuelstange, Ventile, Nockenwelle, Getriebe... Ausgestoßen wird darüber hinaus ein hochgiftiges und schädliches Gasgemisch. Wie simpel ist im Vergleich der Elektromotor, der kaum bewegliche Komponenten hat und im Prinzip wartungsfrei ist: Im einfachsten Falle besteht er aus gewickeltem Draht und einem Magneten. Emissionen gibt es bei diesem Antrieb keine – außer Wasser, wenn man den Elektromotor mit **Wasserstoff** über eine **Brennstoffzelle** betreibt. Weiterhin ist der Wirkungsgrad von Elektromotoren unübertroffen hoch. Dieser erreicht Werte von bis zu 98 Prozent und unter Realbedingungen immer noch über 90 Prozent. Fast die gesamte gespeicherte Energie wird also in Bewegung umgesetzt. Dagegen liegt die Effizienz des Verbrennungsmotors nur zwischen 33 Prozent (Benzin) und 40 Prozent (Diesel). Der Großteil der chemischen Energie des Benzins oder Diesels wird also nicht in Bewegung umgesetzt, sondern geht als Abwärme oder in Form von Abgasen verloren. Die Liste der Vorteile des Elektroantriebs und damit seine Überlegenheit dem Verbrennungsmotor gegenüber ist lang: keine Abgase (oder aber Wasser bei Wasserstoffbetankung), wesentlich höhere Effizienz und damit wesentlich geringerer Energiebedarf, geringe Wartung durch simple Technik (zum Beispiel kein Motorölwechsel), weniger Lärm, kein Gestank, hohes Drehmoment in einem großen Drehbereich (in der Regel ist kein Getriebe notwendig)...

Ein Gerücht, das sich hartnäckig hält

Auch Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Vehicle, FCV) sind Elektrofahrzeuge. Hier kommt die Energie allerdings nicht aus einer Batterie (zum Beispiel einem Lithium-Ionen-Akku), sondern in der Brennstoffzelle findet eine umgekehrte Elektrolyse statt. Aus dem getankten Wasserstoff wird also Strom erzeugt, aus dem Auspuff kommt reiner Wasserdampf. Immer wieder ist zu hören, diese Technik sei noch nicht ausgereift. Zu diesem Gerücht muss einmal klargestellt werden: Die Brennstoffzellentechnik ist den Kinderschuhen längst entwachsen, technisch erprobt und massenmarktfähig. Die hohen Preise für Brennstoffzellen und FCV sind nur der manuellen Herstellung geschuldet. Weder gibt es bei der Herstellung technische Schwierigkeiten oder einen Mangel an Rohstoffen, so dass einer Großserienherstellung nichts im Wege steht. Zur Zeit gibt es in Deutschland gut 80 Wasserstofftankstellen – viermal soviel wie vor vier Jahren ⁹. Das Tanken an sich geht so schnell wie beim Benzin; in nur wenigen

⁸Quelle: Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V. (BVEG)

⁹<https://h2.live>

Minuten sind die vier bis sechs Kilogramm Wasserstoff in die Tanks gefüllt. In Pkws ist der Wasserstoff in den Tanks auf 700 Bar verdichtet und nimmt damit auch nicht viel mehr Volumen ein als ein Benzintank. Der Tankkrüssel und das Gegenstück, der Tankflansch, sind standardisiert. Man kann mit dem Brennstoffzellenwagen also an jeder Tankstelle tanken – beim Batterieauto gibt es dagegen oft Probleme wegen fehlender Adapter.

Grundsätzlich können Elektroantriebe mit Batterien oder Brennstoffzellen mit Energie versorgt werden. Für größere Strecken sind Brennstoffzellen-Fahrzeuge allerdings den Batterie-Fahrzeugen vorzuziehen. Studien des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) zeigen, dass der Einsatz von Brennstoffzellen für Reichweiten von mehr als 250 Kilometer die effizientere Lösung ist ¹⁰.

Wichtig ist es, Wasserstoff nicht als Energieträger der Zukunft zu betrachten, sondern als Stoff der schon heute eingesetzt werden kann. Im Übrigen hat **Wasserstoff eine lange Tradition** als Energieträger. Unter anderem wurden die Saturn-Raketen, die für die Apollo Missionen in den 60er und 70er Jahren zum Einsatz kamen und mit denen man zum Mond geflogen ist, mit Wasserstoff betrieben. Heutzutage ist die Wasserstofftechnologie allerdings keine „rocket science“ mehr, sondern wird in vielen Bereichen eingesetzt.

Für den **Gütertransport** gibt es bereits eine elektrische Variante: die elektrifizierte **Bahn**. Diese Transportart muss nach Jahren der Stagnation weiter intensiv ausgebaut werden und der Güterverkehr von der Straße auf die Schiene verlegt werden. Auf noch nicht elektrifizierten Strecken kann ebenfalls die Brennstoffzellentechnik Zwischenlösungen bieten. Die Firma Alstom bietet mit dem Brennstoffzellenzug Coradia iLint eine sinnvolle Alternative zum Dieselizeug auf solchen Abschnitten an. Dieser wird auf der Strecke Cuxhaven-Buxtehude eingesetzt.

Aber auch für den **Lkw-Verkehr** gibt es bereits Brennstoffzellenfahrzeuge (Batteriespeicher sind für größere Reichweiten aufgrund der geringen Energiedichte und des enormen Gewichts nicht geeignet). Beispiele hierfür sind die Nikola Zugmaschinen von Nikola Motors oder der H2 Panel Van von der Firma StreetScooter, der im Auftrag von DHL produziert wird.

e-Wärme – Revival der Elektroheizung

Mehr als 50 Prozent des Energiebedarfs werden für die Erzeugung von Wärme für Heizungen und Prozesswärme benötigt ¹¹. Darum ist eine Umstellung auf EE in diesem Sektor besonders dringend notwendig – aber technisch einfach zu realisieren, insbesondere für die Wärmeversorgung in Häusern und Wohnungen. Am einfachsten ist ein Austausch des Öl- oder Gasheizkessels durch eine **Elektroheizung** (Zentral- oder als Etagenheizung), die im Prinzip so funktioniert wie der elektrisch betriebene Durchlauferhitzer. Die bestehenden Heizkörper und Warmwasserleitungen können dann weiter verwendet werden. Da eine elektrische Zentralheizung technisch wesentlich einfacher aufgebaut ist (Stichwort: Tauchsieder) als eine Verbrennungsheizung, kostet diese auch nur einen Bruchteil der neuen Ölheizung, wobei Ölheizungen wohl in naher Zukunft gänzlich verboten werden. Überflüssig wird dann auch der Öltank, da der grüne Strom aus der Steckdose kommt; auch die jährlichen Kosten für den Schornsteinfeger entfallen. Darüber hinaus ist die Elektroheizung wesentlich effizienter; die Effizienz beträgt formal 100 Prozent, da die gesamte Energie des benötigten Stroms in Wärme umgesetzt wird. Zur Erinnerung: Teilweise sind noch strombetriebene Nachtspeicherheizungen zu finden. Zeitweise waren sie verpönt, als der Strom noch vorwiegend aus der Kohleverbrennung gewonnen wurde. Nach der Umstellung auf EE-Strom lassen sie sich aber mit gutem Gewissen weiter betreiben. Natürlich ist ein Systemumbau auf Niedertemperaturheizung mit Wärme-

¹⁰ https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/ISE_Ergebnisse_Studie_Treibhausgasemissionen.pdf

¹¹ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#textpart-1>

pumpe und Großflächenheizkörpern/Fußbodenheizung sinnvoll, wo es die Bausubstanz und die finanziellen Mittel ermöglichen.

Auch die Erzeugung von Prozesswärme, für die regelmäßig wesentlich höhere Temperaturen erforderlich sind, ist mit Strom möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Salzgitter AG mit Ihrem SALCOS Projekt ¹². Auch hier wird **Wasserstoff**, der aus EE-Strom gewonnen wird, die zentrale Rolle spielen. Wasserstoff, der mit Windstrom gewonnen wird, kommt auch bei den Blockheizkraftwerken der Firma Enertrag bei Prenzlau zum Einsatz.

Chancengleichheit: Was die Energiewende behindert

Die größten Hürden bei der Umstellung auf erneuerbare Energien sind die politischen Rahmenbedingungen ¹³. Obwohl die technischen und technologischen Voraussetzungen für Energiewende schon lange gegeben sind, wird die Umsetzung durch eine Reihe von – teils absurden – Rechtsgrundlagen und Randbedingungen verhindert. Sie manifestieren sich unter anderem in der direkten oder indirekten Förderung und Begünstigung fossiler Brennstoffe: Einige Beispiele dafür sind der Kohlepfennig, das steuerfreie Kerosin und die geringe CO₂-Steuer.

Ein besonders extremes Beispiel der Begünstigung fossiler Brennstoffe ist der **Strompreis**. Der Strompreis, circa 30 Cent/Kilowattstunde für Privathaushalte, setzt sich zu 80 Prozent aus Steuern und Abgaben zusammen. Die Strombezugskosten sind also fünfmal so hoch wie die Stromherstellungskosten (circa 6,2 Cent/Kilowattstunde). Beim Gas betragen die Abgaben nur 50 Prozent und beim Benzin etwa 60 Prozent. Das ist der Grund für die relativ günstigen Gas- und Benzinpreise von circa 5,7 beziehungsweise 16 Cent/Kilowattstunde. Diese staatliche Preispolitik ist fatal, da ausgerechnet der Strom, der mittlerweile zu 40 Prozent aus EE erzeugt wird, nicht konkurrenzfähig ist. Außerordentlich sinnwidrig ist es, den EE-Strom mit der **EEG-Umlage** zu belasten und damit zusätzlich zu verteuern. Mittlerweile ist die EEG-Umlage höher als die Stromherstellungskosten: 6,79 gegenüber 6,18 Cent/Kilowattstunde ¹⁴. Ein konkurrenzfähiger Strompreis (für Strom aus erneuerbaren Energien) würde einen sehr schnellen Wandel bewirken. Die Gesetzgeber haben es in der Hand, mit ihrem über 80-prozentigen Handlungsspielraum beim Strompreis die Energiewende wirklich einzuleiten. Bei Strom aus Wind und PV ist die relative Abgabenspanne noch wesentlich höher (und somit der Handlungsspielraum größer), da hierfür keine Produktionskosten und nur relativ geringe Wartungskosten anfallen. Erzeugungskosten von weniger als 3 Cent/Kilowattstunde sind daher leicht zu realisieren. Die Abschaffung der EEG-Umlage auf Grünstrom ist das Mindeste, was geboten ist. Notwendig ist aber ein Grünstrompreis, der unter dem Energiepreis fossiler Brennstoffe liegt. Dann würde der Verbraucher mit dem Geldbeutel abstimmen!

Natürlich müssen diese Steuermaßnahmen mit dem massiven Ausbau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen und der entsprechenden Infrastruktur einhergehen. Leider stagniert der Ausbau von Wind- und PV-Anlagen. Grund hierfür sind vor allem komplizierte baurechtliche Vorgaben, fehlende Anreize und mittlerweile Ressentiments in der Bevölkerung gegenüber Windparks. Abgesehen davon, dass die letzten Novellierungen des EEG eine massive Senkung des Ausbaus zur Folge hatten, finden sich dort eine Reihe von widersinnigen Regelungen. Zum Beispiel muss ein privater Eigenstromproduzent 40 Prozent der EEG-Umlage für den selbstgenutzten(!) Strom bezahlen, wenn der überschüssige Strom in das Stromnetz eingespeist werden soll. Damit werden die Stromkosten für den Eigenbedarf verdoppelt, Eigeninitiative

¹²<https://salcos.salzgitter-ag.com>

¹³siehe auch die Studie des Umwelt Bundesamts zu alternativen Finanzierungsoptionen der Energiewende:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-07-17_climate-change_20-2018_alternative-finanzierungsoptionen-ee_0.pdf

¹⁴Quellen: BDEW, Bundesministerium der Finanzen 2018

wird bestraft.

Grundsätzlich sollte in Deutschland verstärkt der Auf- und Ausbau von **Offshore**-Windparks forciert werden. Zunächst gibt es auf dem offenen Meer und in Küstennähe kaum Platzprobleme und man kann dort wesentlich stärkere und höhere Anlagen (z.B. 10 Megawatt-Windkraftanlagen) aufstellen. Weiterhin liegt dort die Auslastung bei Vollast bei nahezu 50 Prozent, wobei onshore nur circa 20 Prozent erreicht werden ¹⁵.

Die e-Infrastruktur – günstiger als erwartet

Für den Umbau der Energieversorgung von fossilen zu erneuerbaren Energiequellen sind natürlich große Infrastrukturprogramme notwendig; etwa der Ausbau von Windparks und die Installation von PV-Anlagen, die mit Elektrolyseanlagen und Wasserstofftanks abgesichert sind. Gerade Photovoltaik-Anlagen könnten zum Beispiel gefördert werden durch eine Verpflichtung für Neubauten und die Nachrüstung auf Industrie- und Logistikanlagen. Weiter ganz oben auf der Tagesordnung steht der Ausbau der Stromtrassen und die Schaffung eines Netzes von Wasserstoff-Tankstellen.

Eine grobe Schätzung der Investitionskosten erhält man, wenn man die bisherigen Kosten pro Watt für den Aufbau von Windkraftanlagen (onshore: 1 Euro/Watt, offshore: 3 Euro/Watt) und die Ausbaukosten für die Netz- und Wasserstoffinfrastruktur (1 Euro/Watt) als Grundlage verwendet. Damit ergeben sich Investitionskosten von 1,2 Billionen Euro unter der Voraussetzung, dass noch keine EE-Infrastruktur besteht. Dies entspricht nur etwa einem Drittel des deutschen Bruttoinlandsprodukts und nur rund 60 Prozent der Verschuldung. Das ist eine erstaunlich geringe Summe für eine solch massive Umstellung der Wirtschaft.

Investitionen in die Infrastruktur sind nicht nur kostenneutral, sondern erhöhen das Bruttoinlandsprodukt und sind eine volkswirtschaftliche Wertschöpfung. Sind genügend Ressourcen in Form von beispielsweise Arbeitskräften, Wissen, Rohstoffen, Material etc. vorhanden, kann sich es jeder Staat leisten, Infrastrukturmaßnahmen in Auftrag zu geben und umzusetzen. Fazit: Die Bundesrepublik Deutschland könnte energetisch autark und somit unabhängig von politisch fragwürdigen Staaten wie Saudi-Arabien oder Russland werden.

„Rebound-Effekt“: die Nachhaltigkeitsfalle

Obwohl eine komplette Umstellung unserer Wirtschaft auf regenerative Energiequelle technisch möglich ist, darf die Umstellung unserer Gesellschaft auf **nachhaltiges Handeln** nicht ins Hintertreffen geraten. Dies gilt insbesondere für den Umweltschutz, die Vermeidung von Abfallprodukten, der Reduzierung des Verkehrsaufkommens und den verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen.

Beim Einsatz erneuerbarer Energien ist insbesondere auf den **Rebound-Effekt** zu achten. Sehr leicht kann man sich von der Annahme verführen lassen, dass die benötigte Energie zum Autofahren oder zum Heizen ja von der Sonne kommt, und somit keine negativen Auswirkungen hat. Dies ist natürlich keineswegs der Fall. Für Bereitstellung der EE-Infrastruktur (Windkraft- und PV-Anlagen, Stromnetze etc.) sind Ressourcen und Rohstoffe erforderlich, die sich meist nicht erneuern lassen und die die Umwelt beeinflussen oder dauerhaft zerstören. Je größer der Energiebedarf, desto größer der Bedarf an Infrastrukturmaßnahmen. Weiterhin haben alle Anlagen eine endliche Lebensdauer durch Verschleiß (Windanlagen) oder Materialermüdung (PV) und müssen alle 20 bis 25 Jahre grundlegend instand gesetzt oder erneuert werden. Auch hierfür werden wieder neue Ressourcen und Rohstoffe benötigt. Grundsätzlich sollte schon bei der Herstellung der Anlagen und Infrastruktur auf die Wiederverwertbar-

¹⁵Windmonitor des Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik, IEE

keit und die Lebensdauer der Materialien geachtet werden, um einen möglichst nachhaltigen Umgang der eingesetzten Ressourcen zu gewährleisten.

Halten wir uns an diese „Spielregeln“ und setzen die e-Wende zügig um, werden wir nicht nur die Klimaziele, sondern auch eine erhebliche Verbesserung der Lebensqualität erreichen.

In Zusammenarbeit mit Claas Möller