





Foto: by-studio/Fotolia.com

Utopie ist machbar, Herr Nachbar

An Visionen nachhaltiger, CO₂-neutraler Energieversorgung herrscht kein Mangel. ÖKO-TEST stellt die beiden radikalsten neuen Szenarien vor. Das eine hält eine weltweite Versorgung aus erneuerbaren Energie schon für 2030 für möglich, das andere bietet ein realisierbares Modell für Deutschland – durchgerechnet, allerdings bis 2050.

Wir sollten das Öl verlassen, bevor es uns verlässt“, rät Fatih Birol, Chefökonom der Internationalen Energieagentur (IEA) in Paris. Das ist nur logisch. Die Steinzeit ging schließlich auch nicht zu Ende, weil es an Steinen mangelte. Oder – um ein aktuelles Beispiel zu wählen – das Briefeschreiben wird nicht durch die E-Mail ersetzt, weil Schreibpapier und Stifte zur Mangelware werden. Alle diese Veränderungen und technologischen Revolutionen entstanden, weil es etwas Neues gab – und Besseres: technische Lösungen, die den Menschen lieber sind als die herkömmlichen Mittel.

Das ist beim Öl und sonstigen fossilen Brennstoffen nicht anders. Das stinkende Verbrennen von Millionen Jahre alten Resten aus der erdgeschichtlichen Urzeit, ►

seien es nun Öl, Gas oder Kohle, wirkt nicht gerade verlockend als Antrieb für die Wirtschaft des 21. Jahrhunderts. Es ist einfach überholt. Der Treibhauseffekt und die mit ihm zu beobachtenden und erst recht zu erwartenden Naturkatastrophen und Anpassungsprobleme sorgen zudem – ganz unabhängig von der zeitlichen Reichweite fossiler Brennstoffe – für politischen Druck, die Energieversorgung auf ein neues, zeitgemäßes Fundament zu stellen. Selbst die Atomenergie, die große Vision der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts über unendlich verfügbare Energie, womöglich sogar zum Nulltarif, ist doch nur ein technologischer Dinosaurier, dessen Freunde um ein paar Jahre Lebensverlängerung flehen, jedenfalls in Europa.

Die Technik ist längst weiter – und viele Menschen sind es auch. Wind, Wasser und Sonne können in absehbarer Zeit den Energiebedarf der Erde vollständig decken. Eine ganze Reihe von Studien und aktuellen Beispielen belegt diese Entwicklung. Die Spanne reicht dabei für Deutschland von einem Anteil der erneuerbaren Energie am Strombedarf des Jahres 2050 von etwa 50 bis hin zu 100 Prozent (siehe Tabelle Seite 45: Geteilte Meinungen – Was alles möglich ist). Ein Szenario des Freiburger Öko-Instituts geht ganz akkurat von 97 Prozent der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch 2050 aus und kommt für den gesamten Energieverbrauch auf einen grünen Anteil von 76 Prozent. Greenpeace kommt in einer Untersuchung auf 90 Prozent Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtbedarf. Die Bundesregierung in Berlin verfolgt einen Plan, der

Windräder im Wasser: Die steife Brise vor den Küsten gilt als verlässliche Quelle erneuerbarer Energien.

bis zum Jahr 2050 den Stromverbrauch in Deutschland zu rund 80 Prozent aus regenerativen Quellen decken soll. Der gesamte Energiebedarf des Landes, einschließlich der nicht so leicht mit Strom zu bewerkstellenden Fortbewegung, soll dann immerhin zur Hälfte grün bedient werden.

Radikales Modell mit viel Wind

Es gibt allerdings mutigere Menschen als Angela Merkel, auch mutigere Energieansätze. So halten die beiden amerikanischen Naturwissenschaftler Mark Z. Jacobson und Mark A. DeLucchi eine zu 100 Prozent auf erneuerbare Energien umgestellte Versorgung nicht erst im Jahr 2050, sondern schon 2030 für machbar und auch für bezahlbar – und zwar weltweit. Die beiden Amerikaner sind derzeit dabei, ihre Vorstellungen zu präzisieren. Sie arbeiten seit vielen Jahren an Energie- und Klimamodellen und haben ihre Vorstellungen in Deutschland auf Einladung

der Energy Watch Group präsentiert. Dieses internationale Netzwerk von Wissenschaftlern und Politikern ist 2006 vom Grünenabgeordneten Hans-Josef Fell gegründet worden und wird von der Ludwig-Bölkow-Stiftung finanziert. Die Pläne der US-Wissenschaftler sind in der Tat radikal. Sie wollen nicht nur ganz auf fossile Brennstoffe verzichten; sie halten auch die Umwandlung von Bio-Masse in Energie für überflüssig und den Verzicht darauf auch für wünschenswert. Denn auch beim Verbrennen von Bio-Diesel und dergleichen wird das in den Pflanzen gebundene CO₂ frei.

Wie kommen sie zu dieser kühnen These? Zunächst haben Jacobson und DeLucchi untersucht, wie viel Energie überhaupt gebraucht wird. Nach den Erkenntnissen der U.S. Energy Information Administration verbraucht die Menschheit derzeit zu Spitzenzeiten 12,5 Terawatt (TW), das sind 12,5 Billionen Watt, um das Geschehen auf dem Planeten anzutreiben, ihn zu beleuchten und zu erhitzen – bei Bedarf auch zu kühlen.

Foto: Siemens AG



Bis zum Jahr 2030 dürfte der Energieverbrauch nach Ansicht der US-Behörde auf 16,9 TW steigen, weil Weltbevölkerung und Wohlstand zunehmen werden. Grundlage für diese Behördenprognose ist dabei die Annahme, dass sich am Energiemix von heute mit seinem hohen Anteil an fossilen Brennstoffen nichts ändert. Stellt man hingegen die Energieversorgung komplett auf Wind, Wasser und Sonne um, säne der benötigte Energieeinsatz bis 2030 auf 11,5 TW. Ursache für diesen erwarteten Rückgang ist der höhere Wirkungsgrad des Stroms, verglichen mit anderen Energieformen. So wird im Auto rund ein Fünftel des Benzins für den Antrieb genutzt, der Rest geht als Wärme verloren. Elektroautos setzten hingegen über 80 Prozent des Stroms in die Fortbewegung um. Dabei ist der Rückgang beim Bedarf noch nicht einmal notwendig für den Umbau der Energielandschaft. „Selbst wenn der Energiebedarf auf 16,9 TW steigen sollte, könnten Wind, Wasser und Sonne weit mehr als das liefern“, schreiben Jacob-

son und DeLucchi. Allein die weltweit verfügbare Windenergie könne nach ihren und den Erkenntnissen anderer Forscher 1.700 TW liefern. Da sieht nach reichlich Manövrierraum aus.

Doch zurück zum untersuchten Szenario. Also: 11,5 Billionen Watt reichen in 20 Jahren für die Versorgung. Woher sollen die kommen? Der anvisierte Mix der Zukunft bestätigt das, was gegenwärtig weltweit bereits vor sich geht: So könnte in 20 Jahren 51 Prozent der verbrauchten Energie aus der Windkraft stammen, einschließlich der Wellen, die der Wind macht. Weitere 40 Prozent kommen von der Sonne und die restlichen neun Prozent aus der Wasserkraft, einschließlich jener Energie, die in den tieferen Schichten als Geothermie zu gewinnen ist (siehe Tabelle Seite 48: Grün in 20 Jahren). Der Wasserkraft, dank derer heute der größere Teil der erneuerbaren Energien fließt, wird keine große Zukunft vorhergesagt. Auch wenn das Wasser heute noch alle anderen Quellen erneuerbarer Energien „in den Schatten stellt“, formulieren Ja-

cobson und DeLucchi mit schräger, wenn auch der Materie angepasster Metapher, „ist es mangels geeigneter Standorte für große Stauseen nicht möglich, sie sehr viel stärker auszubauen. Gleichwohl kalkulieren die beiden Amerikaner in ihrem Szenario durchaus den weiteren Ausbau der Wasserkraft ein. Immerhin 900 Wasserkraftwerke weltweit sollen 2030 im Einsatz sein, von denen heute schon 70 Prozent laufen.

Wer will, der kann

Aber die Zukunft der Energieversorgung hängt an Wind und Sonne. Damit die ihre Aufgabe erfüllen können, bedarf es in der Tat gewaltiger Investitionen. Wenn der Wind in 20 Jahren gut die Hälfte aller benötigten Energien liefern soll, müssen bis dahin 3,8 Millionen Windräder aufgestellt werden, jedes mit einer Kapazität von fünf Megawatt. „Das hört sich nach ungeheuer viel an, doch sei daran erinnert, dass derzeit Jahr für Jahr rund um den Globus 73 Millionen Automobile und Kleinlaster gebaut werden“, so die beiden Visionäre. Wer will, der kann, soll das heißen. Derzeit sind erst 0,8 Prozent der benötigten Windkraftanlagen am Netz.

Immerhin ist der Ausbau der Windkraft international schon im vollen Schwung. Erst im September ist von der Küste der englischen Grafschaft Kent der größte Windpark der Welt ans Netz gegangen. Ein Wald von Windrädern, über 35 Quadratkilometer verteilt und jedes 115 Meter aus dem Meer ragend, soll bis zu 300 Megawatt (MW) Strom liefern. Im Jahr 2012 soll in der Themse-Mündung eine noch größere Windenergieanlage den Betrieb aufnehmen.

Nicht weniger herausfordernd als beim Wind ist das Ziel, 40 Prozent der notwendigen Energie in 20 Jahren durch die direkte Kraft der Sonne zu produzieren. Zu diesem Zweck müssten in aller

Geteilte Meinungen – was hierzulande alles möglich ist

Szenario von	Anteil erneuerbarer Energien im Jahr 2050 in Prozent	
	am gesamten Energieverbrauch	an der Stromerzeugung
Umweltbundesamt	k.A.	100
Greenpeace	90	100
Öko-Institut	76	97
Bundesumweltministerium	50	85
Bundesregierung	ca. 50	77–81
Forschungsstelle für Energiewirtschaft	36	ca. 50
Jacobson/DeLucchi ¹⁾	100	100

Anmerkung: 1) weltweit ab 2030

Der Überblick der unterschiedlichen Energieszenarien für Deutschland zeigt beim Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromerzeugung eine Bandbreite zwischen 50 und 100 Prozent. Am optimistischsten geben sich das Umweltbundesamt und Greenpeace, die größte Skepsis hat die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE). Der gemeinnützige Verein hat Mitglieder aus allen energiewirtschaftlichen Bereichen der Industrie, Wissenschaft und Verwaltung.

Quellen: Wuppertal-Institut, Umweltbundesamt; Jacobson/DeLucchi, August 2010

Foto: Energy Watch Group



Foto: Siemens AG

Der amerikanische Naturwissenschaftler Mark Z. Jacobson meint: Schon in 20 Jahren kann die Welt ganz auf Solarkraft und andere grüne Energien umgestellt werden.

Welt ungefähr 90.000 Photovoltaik- und Solarthermie-Kraftwerke Strom erzeugen, jedes mit einer Kapazität von 300 MW. Außerdem müssten 1,7 Milliarden Hausdächer mit Sonnenkollektoren ausgestattet werden. Von beiden Größenordnungen ist gegenwärtig weniger als ein Prozent vorhanden.

100 Billionen Dollar bis 2030 rechnen sich

Gewiss, alles zusammen eine gewaltige Herausforderung – und eine teure: „Für den Aufbau eines Wind-Wasser-Sonne-Systems – die Infrastruktur zur Verteilung des Stroms nicht mitgerechnet – wären schätzungsweise weltweit etwa 100 Billionen Dollar aufzuwenden, verteilt über 20 Jahre“, kalkulieren Jacobson und DeLucchi. Sie unterstreichen aber: „Dabei handelt es sich nicht um Geld, das Regierungen oder Konsumenten ausgeben müssen. Es sind Investitionen, die sich durch den Verkauf von Strom und Energie amortisieren“, so die beiden Wissenschaftler. Je nach der Preisentwicklung für fossile Brennstoffe würden die neuen Energien ohnehin bald die billigere Alternative sein. Gerade der Wind dürfte in Zukunft „die billigste En-

ergie überhaupt liefern.“ Im Jahr 2020 soll es in den vorgelegten Modellrechnungen nur vier US-Cent kosten, eine Kilowattstunde Strom aus Wind, Wellen und Sonne zu gewinnen, während die Kosten für eine Kilowattstunde konventionellen Stroms dann bei sieben Cent liegen würden. Dabei sind nicht die Kosten eingerechnet, die bei konventioneller Energieerzeugung durch die Verwüstung der Umwelt und die Beeinträchtigung der Lebensbedingungen für Mensch und Tier entstehen.

Die größten Sorgen bereitet den Amerikanern die rasant steigende Nachfrage nach schwer zu beschaffenden Rohstoffen für das neue Energiezeitalter. Seltene Erden für Elektromotoren, Platin für Brennstoffzellen und besonders Lithium für Batterien könnten knapp werden. Lithium wird heute vor allem in zwei Ländern gefördert: in Chile und in zunehmendem Maße auch in Bolivien. Dort liegt in den Bergen ein ausgetrockneter Salzsee, Salar de Uyuni, eine unwirtliche weiße Wüste, über die der Wind pfeift. Doch das Salz hat es in sich. Nach Berechnungen der amerikanischen *Geological Survey* lagert im Salar de Uyuni rund die Hälfte alles Lithiums, das auf der Erde zu finden ist. Das gibt dem Land

eine unangenehme Macht, gegen die jene der Opec, der Organisation Erdöl exportierender Länder, verblasst. Neuerdings ist auch die Rede von beträchtlichen Vorräten im Boden des kriegsverwüsteten Afghanistan. Doch den drohenden Engpässen bei Lithium und anderen Preziosen soll vor allem durch Recycling beigegeben werden. „Dafür müssen die Batterien allerdings für leichte Wiederverwertbarkeit ausgelegt sein“, so die Amerikaner. Die Industrie sei sich dieser Problematik durchaus bewusst.

Die Probleme zu kennen, ist gut, reicht jedoch nicht. Die Modellrechnungen der beiden Wissenschaftler aus dem Land der unbegrenzten Möglichkeiten stützen sich auf die technisch machbaren Veränderungen, ignorieren aber vollkommen den Widerstand der realen Verhältnisse – oder nehmen diese gar nicht wahr. So ist ihnen natürlich klar, dass die neue Energiewelt den Ausbau von Stromleitungen notwendig macht. Ohne große neue Netze kein Austausch zwischen Gegenden mit viel Sonne und solchen mit viel Wind, was von allen Beteiligten für zwingend erforderlich gehalten wird. Für die Amerikaner ist die Lösung einfach: Wenn neue Netze gebraucht werden, müssen sie halt gebaut werden. ▹

So what?! „1956 begannen die USA mit dem Bau der Interstate-Highways. Das Netz der Autobahnen war nach 35 Jahren auf 76.000 Kilometer angewachsen“, schreiben sie.

An den gesellschaftlichen Bedingungen orientieren

Europäer, erst recht jene aus Deutschland, wissen, dass diese Nummer auf dem alten Kontinent nicht zu wiederholen ist. Bei der Umgestaltung des

Bevölkerungszahlen haben die Experten des Umweltbundesamts ein Programm erarbeitet, wie es möglich sei, bis zum Jahr 2050 wenigstens den Bedarf an elektrischem Strom in Deutschland komplett aus erneuerbaren Energie zu decken.

Auf die Berechnung des Anteils der Erneuerbaren am gesamten Energieverbrauch haben die Fachleute des Umweltbundesamts verzichtet. „Wir kennen den Wirkungsgrad nicht, mit dem die Anlagen in Zukunft arbeiten können“, erklärt ein Sprecher die Zurückhaltung des Amtes.

auch dringend nötig. „Wenn wir die Treibhausgas-Emissionen um 80 bis 95 Prozent verringern wollen, müssen wir die Stromversorgung auf erneuerbare Energie umstellen“, sagt Jochen Flasbarth, Präsident des Umweltbundesamts. Außerdem würde Deutschland als willkommenen Nebeneffekt seine hohe Abhängigkeit von Energieimporten nachhaltig verringern. Im Jahr 2008 stammten noch 70 Prozent des gesamten Energieverbrauchs aus dem Import von Kohle, Erdgas, Öl und Uran. Diese Einfuhren können bei grüner Stromversorgung aus hauptsächlich heimischen Quellen zum größten Teil überflüssig werden. Eine ganze Expertenschar hat das Amt versammelt, um drei grundlegende Szenarien zu entwickeln, wie das gesetzte Ziel erreicht werden kann. Es sind dies in der Sprache der Modellbauer die Konzepte:

Regionenverbund, bei dem die deutschen Länder, Städte und Gemeinden eng kooperieren und sich bei Engpässen gegenseitig aushelfen;

Internationale Großtechnik, bei dem umweltfreundliche Stromerzeugung in großen Anlagen zusammengefasst ist und der Strom weiträumig über die Landesgrenzen verteilt wird. Deutschland könnte bei diesem Modell reichlich in den Genuss etwa von sauberer norwegischer Wasserkraft kommen. Ein Nachteil für die Umsetzung läge allerdings darin, dass kein anderer Plan nach so vielen neuen Stromleitungen verlangt wie dieser;

Lokal-Autark nennt sich schließlich die dritte Modellversion. Dabei wird der Strom, wo immer es möglich ist, in Kleinanlagen vor Ort generiert, was nicht immer billig wäre und mehr Speicherkapazitäten, aber weniger neue Leitungen verlangen würde als die beiden anderen Strategien.

Natürlich ist auch den Experten des Umweltbundesamts klar, dass keines der

Weltmodell: Grün in 20 Jahren

Energiequelle	Energieangebot weltweit in Terawatt ¹⁾	Energie in verwertbaren Lagen in Terawatt ¹⁾	Gegenwärtige Energieausbeute in Terawatt ¹⁾	Anteil am Energieverbrauch 2030 in Prozent
Windräder	1.700	40–85	0,02	50
Photovoltaik	6.500	340	0,0013	20
Hochtemperatur Solarkraftwerke	4.600	240	0,00046	20
Erdwärme	45	0,07–0,14	0,0065	4
Wasserkraft	1,9	1,6	0,32	4
Gezeiten	3,7	0,02	0,00006	1
Wellen	> 2,7	0,5	0,000002	1

Anmerkung: 1) Ein Terawatt entspricht 1.000 Gigawatt, einer Million Megawatt oder einer Milliarde Kilowatt.

Nach dem Modell der amerikanischen Wissenschaftler Mark Z. Jacobson und Mark A. DeLucchi ist eine vollständige Versorgung mit grünen Energien schon in 20 Jahren ohne Weiteres möglich – und zwar weltweit. Noch nicht einmal Bio-Masse wird ihrer Einschätzung nach dazu gebraucht. Allein der Wind könnte schon ein Vielfaches der Energie liefern, den die Menschen auf dem Planeten verbrauchen. Eine Vision, die Realpolitik und Realwirtschaft verhindern.

Quelle: Jacobson/DeLucchi, August 2010

Energiesystems müssen immer auch die gesellschaftlichen Verhältnisse ins Kalkül einbezogen werden. Verglichen mit der entspannten Haltung der US-Energievisionäre orientieren sich auch radikale deutsche Umbauszenarien am Hier und Jetzt. So geht das Umweltbundesamt, um das weitreichendste Modell zu nehmen, das für Deutschland am Markt ist, von einer deutlich längeren Umbauphase aus. Mithilfe zahlreicher Studien über die Entwicklung von Wirtschaft und

Deshalb sei hier eine seriöse Einschätzung des Energieverbrauchs in 40 Jahren nicht machbar. „Gleichwohl hält das Umweltbundesamt es für notwendig, die gesamte Energieversorgung langfristig auf erneuerbare Energiequellen umzustellen“, sagt Kathrin Werner, beim Amt für Energiestrategien und -szenarien zuständig. An Studien, wie das gelingen kann, werde derzeit gearbeitet.

Schon die Umstellung der Stromversorgung ist schwer genug, wenn

Konzepte in seiner reinen Form Wirklichkeit werden dürfte. Eine den jeweiligen Umständen angepasste Kombination aller drei könnte aber dazu genutzt werden, Fernleitungen und Stromspeicher so gut wie möglich zu kombinieren, auch um die notwendige Akzeptanz der Bevölkerung zu erreichen. Doch für den Anfang und weil es darum geht, überhaupt einmal die Chancen auszuloten, die es für eine sichere Öko-Strom-Versorgung im Jahr 2050 gibt, ist zunächst das Regionenmodell ausführlich untersucht und getestet worden.

Dabei sind die Grundannahmen für Wirtschaft und Gesellschaft für alle Konzepte dieselben: Deutschland bleibt ein hoch entwickeltes Industrieland. Die Bevölkerungszahl wird im Einklang mit den vorliegenden Prognosen und Hochrechnungen von 82,5 Millionen im Jahr 2005 bis 2050 um zehn Millionen abnehmen, auf dann 72,2 Millionen. Auch als Folge dieses Schwundes wird die Wirtschaft nur mäßig wachsen, nämlich um durchschnittlich 0,7 Prozent im Jahr. Die Forderungen von Mahnern zur Beschei-

denheit und zum bewussten Verzicht auf hohes Wirtschaftswachstum werden damit automatisch erfüllt. Doch unter dem nur noch geringen Wachstum muss der Wohlstand der Menschen keineswegs schwer leiden. Auch bei einem realen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts um die angenommenen 0,7 Prozent pro Jahr steigt die Wirtschaftsleistung pro Kopf von 25.740 Euro (2005) auf 41.301 Euro (2050) in realer Rechnung, also um Preissteigerungen bereinigt.

Wichtige Energiequelle wird die Effizienzsteigerung

Auf diese Annahmen kann sich dann die Prognose des Stromverbrauchs stützen. Der wird, wenn alle Energieeinsparmöglichkeiten möglichst konsequent und radikal genutzt werden, nach den Berechnungen des Umweltbundesamts im Jahr 2050 fast so hoch sein wie im Referenzjahr 2005. Das ist allerdings weniger entmutigend, als es klingt. Denn während der Stromverbrauch von Haushalten, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und

Industrie deutlich sinkt, kommt ein hoch erwünschter Stromfresser hinzu. Das ist der Verkehr (siehe Grafik: Effizienzgewinn von 2005 bis 2050). Zwar werden auch in Privathäusern und Unternehmen zusätzliche Stromverbraucher angeschlossen, etwa in Gestalt von Wärmepumpen. Doch ist es das Elektroauto, das den Stromverbrauch zusätzlich auf Spannung hält – entweder als nur per Batterie vorwärts getriebenes Fahrzeug oder als sogenannte Plug-in-Hybride. Das sind Fahrzeuge, die zusätzlich zum Stromanschluss für das Aufladen der Batterie auch noch einen Verbrennungsmotor haben, falls der Strom nicht reicht. Zusammen kommen diese Elektrofahrzeuge 2050 auf die Hälfte der pro Jahr gefahrenen 565 Milliarden Pkw-Gesamtkilometer. „Das ist keine Prognose, sondern die Obergrenze der Entwicklung, die wir aufgrund der heute verfügbaren Technik als möglich einschätzen“, heißt es in der Studie des Umweltbundesamts. Sie kommt auf einen Strombedarf des Verkehrs im Jahr 2050 von knapp 72 Terawattstunden. Je weniger Elektrofahrzeuge, umso weniger Strom muss auf ökologisch akzeptable Weise hergestellt werden. Ohnehin sei es für die nächsten Jahrzehnte weitaus effizienter für den Umweltschutz, die vorherrschenden Verbrennungsmotoren sparsamer zu machen und sonst den öffentlichen Personenverkehr zu fördern.

Überaus wichtig ist nach der Studie des Umweltbundesamts auch die Raumdämmung; sie soll bis zum Jahr 2050 abgeschlossen sein. Das bedeutet deutlich mehr Tempo als heute. Die Sanierungsrate muss von derzeit jährlich gut einem Prozent der Gebäude auf 3,3 Prozent steigen. Das ist schon ziemlich viel verlangt. Nicht möglich, weil zu aufwendig, ist nach Einschätzung der Experten die Sanierung des gesamten Gebäudebestands auf sogenanntes Passivhausniveau, bei dem der Quadrat-

Grüner Porsche an der Steckdose: Der elektrisch betriebene Individualverkehr sorgt in Zukunft für neue Nachfrage nach Strom.



Foto: Siemens AG

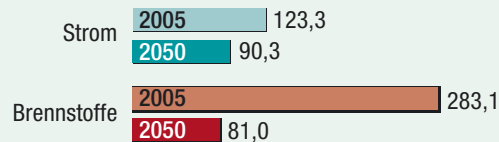
Deutschland: Effizienzgewinn von 2005 bis 2050

Verbrauch in Terawattstunden¹⁾

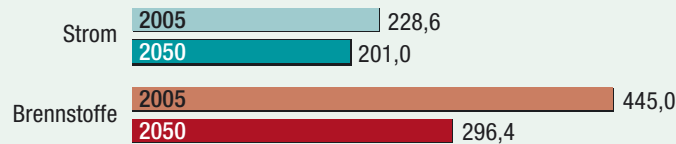
Haushalte



Gewerbe, Handel, Dienstleistungen



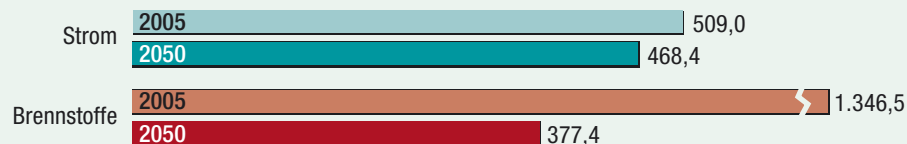
Industrie



Verkehr (nur Strom)



GESAMT



Anmerkung: 1) Eine Terawattstunde sind eine Milliarde Kilowattstunden.

Um nach Vorstellungen des Umweltbundesamts die Stromversorgung in Deutschland in 40 Jahren vollständig auf erneuerbare Energien umzustellen zu können, bedarf es vor allem großer Anstrengungen im effizienten Umgang mit der Elektrizität. Denn Strom wird für die Energieversorgung immer wichtiger. Neue Stromverbraucher wie Wärmepumpen im Haus und Elektroautos auf den Straßen müssen zusätzlich versorgt werden. Ein großer Teil der Brennstoffe in Unternehmen und Haushalten wird zudem durch Elektrizität ersetzt. Durch eine enorme Effizienzsteigerung wird der Verbrauch trotzdem insgesamt reduziert.

Quelle: Umweltbundesamt

Grafik: ÖKO-TEST

meter mit einem Energiebedarf von höchstens 15 Kilowattstunden im Jahr beheizt werden kann.

Schließlich muss auch die Industrie trotz beständiger Produktionssteigerung ihren Energieverbrauch deutlich senken.

Die Prozesswärme, ohne die viele Herstellungsverfahren etwa in der Chemieindustrie nicht möglich sind, hat weiterhin den größten Anteil am industriellen Energieverbrauch. Allerdings wird diese Energie immer effizienter genutzt wer- ▶

den müssen. Um 42 Prozent muss der Energieverbrauch hier insgesamt gesenkt werden, damit die Industrie am Ende des betrachteten Zeitraums im Jahr 2050 mit knapp 500 Terawatt Energie aus Strom und Brennstoffen etwa 180 Terawatt weniger braucht als heute. Die Brennstoffe werden zunehmend durch elektrischen Strom ersetzt. Das ist aber nicht überall möglich. So wird bei der Eisenverhüttung notwendigerweise Koks Kohle gebraucht, die mit dem Eisenerz chemisch reagiert. Der Stromverbrauch der deutschen Industrieunternehmen erreicht dann 201 Terawattstunden (TWh), nur knapp 30 TWh weniger als heute. Alles in allem kann Deutschland in 40 Jahren mit einem Stromverbrauch von knapp 470 Terawattstunden auskommen. Im Jahr 2005 waren es 509 TWh. Effizienz beim Energieeinsatz, Dämmung von Gebäuden sowie eine schrumpfende Bevölkerung helfen bei diesem Rückgang. Der Brennstoffverbrauch geht im selben Zeitraum auf rund 30 Prozent zurück.

Nachdem der Bedarf an Strom, der trotz aller Sparbemühungen im Jahr 2050 mindestens bedient werden muss, so Schritt für Schritt festgelegt und zusammengerechnet wurde, gilt es festzustellen, ob diese Menge mit erneuerbaren Energien erzeugt werden kann. Da wird die heute bekannte Technik zugrunde gelegt, weil die Erfindungen der nächsten 40 Jahre unmöglich vorhergesagt werden können.

Im nächsten Schritt bedarf die Modellrechnung einer gewissen Injektion realer Verhältnisse. Nicht überall können Windräder oder Solarfarmen in die Natur gesetzt werden, und nicht jeder empfindet Tiefboh-

rungen hoch heißen Quellen im Naturschutzgebiet als zusätzliche Attraktion.

Bei der Stromgewinnung, durch Photovoltaik etwa, ergibt sich die mögliche Strommenge

- aus der Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung,
- aus den Flächen auf Dächern und in der Natur, auf denen die Anlagen gebaut werden können, und schließlich
- aus der technischen Leistungsfähigkeit der Anlage.

Heraus kommt eine Zahl: 248 Terawattstunden (TWh) (siehe Tabelle: Grüne Quellen in Deutschland 2050). Mit dem Wind geht es weiter, unterschieden zwischen jenem, der aus Anlagen an Land stammt, und dem, der künftig aus den Anlagen vor den Küsten gewonnen wird. Das technisch-ökologische Potenzial, wie das Umweltbundesamt sein Konstrukt nennt, liegt bei jeweils 180 TWh. Ergänzt wird die zur Verfügung stehende Strom-

menge durch Wasserkraft, Energie aus heißen Quellen tief unter der Erde und aus der Spannung, die Abfall-Bio-Masse hergibt. Alles zusammen genommen können die grünen Energiequellen so 705 Terawatt liefern. Rund die Hälfte davon stammt aus Windenergie, das wenigste aus Abfall-Bio-Masse.

Genug grüne Energie, um den Bedarf zu decken

Das Resultat des Modells ist offensichtlich. Bei einem Gesamtbedarf von 470 Terawattstunden und einem nach technischen und ökologischen Kriterien maximal zur Verfügung stehendem Angebot von über 700 Terawatt ist das Ziel einer zu 100 Prozent sauberen Stromerzeugung in 40 Jahren vollkommen realistisch. Der Plan der Bundesregierung, der nur 80 Prozent reine Elektrizität vorsieht, wirkt dagegen schüchtern. Allerdings geht es in der realen Welt nicht so glatt zu wie im Modell.

Die Hürde heißt Versorgungssicherheit. Strom ist eine wenig haltbare Ware – wenn er erzeugt wird, muss er zum allergrößten Teil auch gleich verbraucht werden. Sonne im Sommer hilft nicht beim Heizen im Winter. Wind an der Nordsee nützt nichts im Sauerland, wenn es an Leitungen fehlt. Um festzustellen, ob die hundertprozentige Versorgung mit Öko-Strom zuverlässig zu jeder Tages- und Nachtzeit sichergestellt wäre, versuchten sich die Nachhaltigkeitsvisionäre an einer „stundenscharfen Simulation“ von Stromverbrauch und Stromerzeugung für das Jahr 2050 auf der Grundlage des Regionenmodells. In diesem Szenario liegt die maximal

Grüne Quellen in Deutschland 2050

Ertrag in in Terawattstunden¹⁾

	Technisch-ökologisches Potenzial	Szenario Regionenverbund
Stromerzeugung aus		
Photovoltaik	248	104
Windenergie an Land	180	170
Windenergie auf See	180	177
Wasserkraft	24	22
Geothermie	50	50
Abfall-Bio-Masse	23	11
Summe	705	534

Anmerkung: 1) Eine Terawattstunde sind eine Milliarde Kilowattstunden.

Das Umweltbundesamt unterscheidet zwischen den technisch-ökologischen Möglichkeiten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen in Deutschland und der realistischerweise zur Verfügung stehenden Strommenge im konkret durchgerechneten Regionenverbundmodell. Die Differenzen der Modelle beruhen fast gänzlich auf der Photovoltaik, da im Regionenmodell bundesweit nicht die sonnenreichsten Standorte für die Anlagen genutzt werden können. Doch genügend grüner Strom ist in jedem Fall im Netz.

Quelle: Umweltbundesamt

Interview



Die Umstellung ist kein technisches Problem

Brigitte Knopf ist Energiemodell-Expertin am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

ÖKO-TEST: Frau Knopf, woher können wir wissen, wie viel Energie in 20 oder 40 Jahren gebraucht wird?

Knopf: Das können wir nicht wissen, jedenfalls nicht genau. In den Modellen treffen wir bestimmte Annahmen, und wir haben die Werte der Vergangenheit. Wir können zum Beispiel recht gut abschätzen, wie sich die Bevölkerung in den nächsten 20 oder 30 Jahren entwickeln wird. Wir kennen die historische Entwicklung des durchschnittlichen Energieverbrauchs pro Kopf. Die zukünftige Entwicklung muss man über mögliche Szenarien abbilden. Unser Modell hat etwa 10.000 Variablen, die in die Berechnungen eingehen.

ÖKO-TEST: Wie oft müssen sie das Modell an veränderte Umstände anpassen?

Knopf: Kleine Änderungen gibt es fast täglich. Aber die meisten Änderungen sind nur sehr gering. Wir haben etwa Hybridbusse in das Modell eingebaut, die hatten wir noch nicht dabei. Solche Änderungen in den Einflussfaktoren verändern die Ergebnisse nicht wesentlich. Aber es gibt strukturelle Veränderungen im Modell, die haben erheblich Auswirkungen.

ÖKO-TEST: Welche?

Knopf: Wir waren zum Beispiel davon ausgegangen, dass ein einmal gebautes Kohlekraftwerk bis ans Ende seiner Lebenszeit läuft. Wir haben jetzt dem Modell erlaubt, das Kohlekraftwerk abzuschalten, wenn das ökonomisch sinnvoll ist. Und was passiert? Das Modell steigt sofort aus der Kohlekraft aus.

ÖKO-TEST: Aber es gibt doch Brüche in der wirtschaftlichen und technischen Entwicklung, Dinge, die man nicht voraussehen kann. Wie wirkt sich das auf die Modelle für die Zukunft aus?

Knopf: Das ist in der Tat ein Problem. So ist zum Beispiel die Erfindung einer völlig neuen Form von Energie nicht vorherzusagen. Aber es gibt Modelle, die rechnen sozusagen vom Ende zurück. Die sagen zum Beispiel: Wir wollen einen hohen Anteil von erneuerbaren Energien im Strommix erreichen und entwickeln daraus, was vorher Jahr für Jahr zu passieren hat.

ÖKO-TEST: Nun haben wir geglaubt, wir wüssten, wie lange die Kernkraftwerke noch laufen. Das scheint sich zu ändern. Die Frage ist jetzt: Wie wirkt sich das auf den Energiemix der Zukunft aus? Nützt es den alternativen Energieformen oder schadet es ihnen?

Knopf: Politisch ist die Kernkraft ein großes Thema. Von der Sache her ist das aber nicht begründet, da die Kernenergie nur Strom, aber keine Wärme erzeugt. In allen Studien, sogar jener der Bundesregierung, hat die Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke ziemlich wenig Einfluss auf die Strategie, mit der man den Energiemix der Zukunft ansteuert. Auch für die Kosten der Energie wirkt sich die Laufzeitverlängerung kaum und zudem für verschiedene Jahre auch unterschiedlich aus. Es kann aber passieren, dass die Laufzeitverlängerung den Ausbau der erneuerbaren Energien behindert.

ÖKO-TEST: Die ganze Energiedebatte wird heute von dem Bestreben dominiert, den CO₂-Ausstoß zu verringern, um die Erderwärmung zu begrenzen. Wie schnell kann das Energiesystem CO₂-frei gemacht werden?

Knopf: Technisch ist das machbar und es entstehen dabei auch keine riesigen Kosten. Denn die Kosten der erneuerbaren Energien sinken mit jeder weiteren Kilowattstunde installierter Leistung. Wie schnell der Umbau des Energiesystems gelingt, hängt aber sehr stark von politischen Rahmenbedingungen ab. Wenn der politische Wille dahintersteht, kann das stark beschleunigt werden. Die Frage ist aber, wie schnell sich Gesellschaften umstellen können. Die Umstellung ist also nicht so sehr ein technisches Problem, sondern eine Frage, wie sehr wir gesellschaftlich und politisch bereit für die Umstellung sind.

mögliche Stromproduktion bei 534 Terawattstunden. Das ist immer noch mehr als die insgesamt benötigten 470 TWh, aber doch deutlich weniger als jene 705 TWh, die möglich wären, wenn man den Strom immer nur dort erzeugte, wo Wind, Sonne und andere grüne Quellen am ergiebigsten wären.

Reichen diese 534 Terawattstunden, um zu jeder Stunde den benötigte Strom zu liefern? Das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) hat die Chancen dafür durchgerechnet. Zugrunde gelegt wurden die

Wetterdaten der Jahre 2006 bis 2009. Dabei gingen die Forscher kleinräumig vor. Sowohl für die Sonneneinstrahlung als auch für den wehenden Wind wurde Deutschland in Planquadrate von 14 mal 14 Kilometern Seitenlänge aufgeteilt, die Leistungsfähigkeit von Windrädern und Sonnenkollektoren in das Modell eingebaut. Dabei musste die höchste Spitze des Energieverbrauchs jederzeit sicher bedient werden können. Auch schwankte die Belastung des Stromnetzes im Jahresverlauf: Die höchste Elektrizitätsleistung wird nach wie vor in


Winter verlangt; daran ändert auch der drastisch verringerte Heizungsbedarf für die isolierten Wohnhäuser nichts.

Neue Netze und Speicher sind unerlässlich

Trotz all dieser Annahmen war das Ergebnis eindeutig: „Wir zeigen, dass die vollständig erneuerbare Stromversorgung in einem Deutschland machbar ist, das auch im Jahr 2050 ein hoch entwickeltes Industrieland mit heutigem Lebensstil, Konsum und

Verhaltensmustern ist“, sagen die Wissenschaftler. Dafür seien keine technischen Wunder oder wenigstens Entwicklungssprünge erforderlich. Aber sie wären hilfreich: „Zukünftige technische Entwicklungen und mögliche Effizienzsteigerungen bei Erzeugung und Verbrauch sind noch ungenutzte Reserven.“ Auch bedarf es keiner großen Stromimporte. Lieferungen aus dem Ausland seien nur in geringem Maße vorgesehen und vor allem deswegen, weil sonst nur selten gebrauchte Reservekapazitäten eigens installiert werden müssten.

Allerdings gebe es zwei Voraussetzungen, die den Siegeszug der erneuerbaren Energien und die Anstrengungen zum Energiesparen ergänzen müssten. Es sind dies der Ausbau der Netze und der Speicherkapazitäten. Vor allem Speichertechniken, die Energie langfristig konservieren und bei Bedarf schnell bereitstellen können, würden in einer Welt des grünen Stroms gebraucht. Die Speicher „fangen größere Überschüsse von Strom aus Windenergie und Photovoltaik auf und können diese dann durch Rückverstromung bei längeren angebotsarmen Perioden wieder einspeisen“, heißt es dazu in der Studie des Umweltbundesamts. Gerade in den Monaten Dezember und Januar könnte es in Deutschland mit Strom aus erneuerbaren Quellen eng werden. Dann müssten die Speicher diese Lücke schließen.

Elegant wäre vor allem der Einsatz von grünem Strom zur Umwandlung von Wasser in Wasserstoff, der direkt als Treib- und Brennstoff genutzt werden kann. Oder in der weiteren Umwandlung des Wasserstoffs in Methan. Dieser in zwei Stufen erfolgende chemische Prozess ist seit etwa 100 Jahren bekannt, hatte aber für die Energieerzeugung bisher keinerlei Bedeutung. Doch bereits laufende Pilotanlagen zeigen, dass die Technik funktioniert. „Der Wirkungsgrad der Methanisierung liegt bei 75 bis 85 Prozent“, hat das Umweltbundesamt (UBA) ermittelt. Methan ist den Menschen vertrauter als Wasserstoff und es ist auch leichter im Alltag zu handhaben. So kann es ohne Weiteres in das vorhandene Leitungsnetz für Erdgas eingespeist werden und erfordert keine neue Infrastruktur. Die Umwandlung des Methans in elektrischen Strom, so die Experten des UBA, sollte „aus Effizienzgründen in den sehr gut regelbaren Gasturbinen- oder Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerken nahe den Verbrauchsschwerpunkten erfolgen“. Der Zusammenhang von Speichervermögen und dem Ausbau der Kapazitäten an erneuerbaren Energien ist simpel: Je mehr Speicher, umso weniger Reservekapazitäten müssen vorgehalten werden. 

fällt das Projekt grüne Energie mit der Möglichkeit, den Wind in Nord- und Ostsee zu nutzen, um die Stromnachfrage in den industriellen Zentren der Republik zu bedienen. Doch wie der Netzausbau gelingen soll, weiß derzeit niemand. Jeder neue Strommast stößt auf erbitterten Widerstand bei den Menschen, die keinen 80 Meter hohen Pfahl vor ihrem Fenster haben wollen. Der Ausbau der Netze aber „bildet das Rückgrat des gesamten Energiekonzepts“, sagt Bundeswirtschaftsminister Rainer Brüderle. An diesem Ausbau führt kein Weg vorbei. Das wissen auch die Experten des Umweltbundesamts. Doch selbst die sind recht ratlos, wenn es darum geht, solche Widerstände zu überwinden. Sie hoffen allenfalls, dass „ein breiter gesellschaftlicher Diskurs“ hilfreich sein möge, dergleichen Hindernisse beiseite zu räumen.

Sofort die ersten Schritte tun

Keinesfalls aber kommt der Wandel des Energiesystems wie die Morgenröte nach durchschlafener Nacht – ein Sachverhalt, auf den einst der Liedermacher Wolf Biermann im Zusammenhang mit dem Aufbau des Sozialismus hinwies. Dazu bedarf es der Tat – auch der politischen. „Notwendige Weichenstellungen müssen in den nächsten Jahren getroffen werden“, sagt das Umweltbundesamt. Dazu gehören

- verbindliche, zeitlich gestaffelte Ziele für die CO₂-Emissionen wie für den Ausbau der erneubaren Energien,
- effizientere und intelligentere Energienutzung. Dazu zählt etwa die bessere Gebäudedämmung. Die sorgt gerade jetzt für erhebliche Aufregung bei den Mietern, die steigende Kosten tragen müssen, ohne sogleich in den Genuss der Energieeinsparungen zu kommen.

Weitaus schwieriger wird es sein, das Netzproblem zu lösen. Nach einer neuen Studie der Deutschen Energie-Agentur (Denä) müssen in Deutschland in den kommenden Jahren 3.000 Kilometer neue Stromleitungen über Land gezogen werden, soll die regenerative Energie auch nur in dem Tempo zulegen, das die Bundesregierung ins Auge fasst. Schließlich steht und



Foto: irisblende.de

Alles eine Frage der Leitung: Ohne den drastischen Ausbau der Netze kann Deutschland nicht auf grünen Strom umgestellt werden. Doch viele Bürger wollen keine neuen Masten.

- der Abbau klimaschädlicher Subventionen. Allein die Steinkohle wird in Deutschland Jahr um Jahr mit 1,5 Milliarden Euro subventioniert.
- veränderte rechtliche Bedingungen. So muss das durchaus erfolgreiche Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) um schärfere Bestimmungen für den Emissionshandel und die Energiebesteuerung ergänzt werden.
- Schließlich wäre auch die Förderung der Energieforschung für den Umbau des Energiesystems hilfreich.

Im Vergleich der Energieszenarien bewegt sich das Modell der Umweltbundesamts zwar am äußersten Rand des Möglichen. Es liegt aber nicht so weit vor allen anderen, als das es von vornherein den Charakter der unerreichbaren Utopie annimmt. Auch Greenpeace und das Öko-Institut, das auf 97 Prozent Strom aus erneuerbaren Energie im Jahr 2050 kommt, liegen mit ihren Zielen gleichauf. Selbst die vorsichtige Bundesregierung bleibt mit 80 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Energien nicht so weit zurück. Während etwa die Amerikaner Jacobson und DeLucchi allein durchrechnen, was technisch möglich sein könnte, orientieren sich die deutschen Visionäre viel eher am wirtschaftlich und politisch Machbaren. So rät das Umweltbundesamt dringend auf die Formulierung von zeitlich festgelegten Zwischenzielen: In Zehnjahresschritten mit Stufen von 35, 60, 85 und 100 Prozent Anteil erneuerbarer Energien könnte der Umbau Etappe für Etappe vorgenommen und das Vorwärtskommen überwacht werden. „Die letzten Prozentpunkte der Vollversorgung werden erwartungsgemäß schwieriger zu realisieren sein“, ist sich das Umweltbundesamt klar. Aber auf die letzten Prozentpunkte kommt es dann auch nicht mehr so sehr an.

Offen bleibt bei allem Forschereifer eine entscheidende Frage: Was kostet der Umbau? Darüber „tobt eine Schlacht der Studien“, bemerkt *Der Spiegel*. Sämtliche Umbaustudien kommen selbstverständlich zu dem Ergebnis, dass sich die Übung am Ende rechnet. Das Umweltbundesamt, das sich in seiner Studie auf die technisch-ökologische Machbarkeit beschränkt und die Ökonomie bewusst auslässt („Ökonomische Faktoren, wie zum Beispiel der Ölpreis, sind nur sehr schwer für die kommenden vier Jahrzehnte abzuschätzen.“) kommt gleichwohl zu dem Schluss, dass sich die Sache lohnt: „Die Kosten sind geringer, als die Kosten, die bei einem ungebremsen Klimawandel auf uns und künftige Generationen zukommen würden.“

Die Stromwirtschaft hingegen, die den Wandel des Energiesystems nur langsam betreibt, um ihre Investitionen in bereits gebaute Großkraftwerke zu schützen, kommt kaum überraschend zu einer weniger günstigen Kalkulation für grüne Technik. Der Stromkonzern RWE, angeführt vom streitbaren

Vorstandschef Jürgen Großmann, rechnet in einem Extrem-szenario mit Strom, der in der Erzeugung bis zu 23,5 Cent pro Kilowattstunde kosten könnte – gegenüber etwa 6,5 Cent heute. Der hohe Preis drohe, wenn in den nächsten 25 Jahren Deutschland sein System vollständig autark von Energieimporten machen würde und ganz auf dezentrale Versorgung setzte.

Doch dergleichen Zahlenspiele nützen wenig. Niemand weiß, was Energie in 40 Jahren kosten wird – aus welcher Quelle auch immer. Schon die Ölpreisprognosen für die vergangenen zehn Jahre, in denen die Notierungen zwischen 20 und 140 Dollar für das 159-Liter-Fass fluktuierten, waren vollkommen sinnlos. Richtig bleibt aber: Fossile Energie wird im Zeitablauf teurer, erneuerbare hingegen billiger: „Auch in den Modellen, die das Ziel haben, die Kosten zu minimieren, wächst der Anteil der erneuerbaren Energie“, sagt Brigitte Knopf, Energiemodell-expertin am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Die Umstellung sei nicht so sehr ein technisches, sondern ein gesellschaftliches Problem, glaubt sie (siehe Interview). Wenig Zweck hat es deshalb auch, den Umbau in Richtung grüne Energieversorgung zu behindern. Denn das Ziel ist so klar wie unstrittig: Den Planeten unabhängig zu machen von fossiler Energie. Die ist einfach von gestern. □