

ROBERT-WICHARD-POHL-PREIS

# Kühler Kopf bei heißer Debatte?

Lassen sich Vorträge zur Energie- und Klimadebatte sachgerecht konzipieren, ohne Frust oder gar Ängste zu erzeugen?

Christoph Buchal

Vortragende stehen bei den Themen Energieversorgung und Klimawandel angesichts der Komplexität und innerer Widersprüche vor großen Herausforderungen. Im Folgenden möchte ich einige persönliche Erfahrungen aus öffentlichen Veranstaltungen zu diesem Themenbereich wie auch aus der Vorlesungsreihe im Studium Universale an der Universität zu Köln vorstellen.

Die Diskussionen um die Zukunft der Energieversorgung und die Entwicklung des Klimas werden hierzulande oft mit kompromissloser Entschiedenheit und Selbstsicherheit geführt. Dabei werden die unanschaulichen globalen Emissionen mit den unmittelbar spürbaren positiven wie negativen Auswirkungen auf Arbeitsplätze, Kosten und Renditen sowie Naturschutz verwoben.

Viele Mitbürger machen sich große Sorgen, dass es mit den Lebensbedingungen auf unserer Erde sehr schnell bergab gehen wird, wenn wir es nicht schaffen, die bei jedem Unwetter erneut heraufbeschworene Klimakatastrophe zu stoppen. So setzen sie ihre Hoffnungen vor allem auf Windräder und Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung. Unbewusst oder bewusst verübeln sie es dem Vortragenden, wenn er sie allzu unvorbereitet mit nüchternen physikalisch-technischen Fakten, Netz- und Speicherproblemen, Kosten und unanschaulichen Zahlen konfrontiert. Sie empfinden, dass er damit ihr Bild von der Zukunft und ihre persönlichen Hoffnungen zerstört – auch wenn es sich dabei objektiv betrachtet häufig um Illusionen handelt. Ein nicht naturwissenschaftlich geprägtes Publikum lässt sich nämlich durch die Atmosphäre, die „Stimmung“ einer Präsentation viel stärker beeinflussen als durch Grafiken, physikalische Argumente oder gar trockene Zahlen und Daten. Daran kann ein mit besten Intentionen geplanter aufklärerischer Vortrag scheitern. Zwar gelingt ein Vortrag vor Naturwissenschaftlern einfacher als vor einem allgemeinen Publikum, doch zeigt auch hier die heftige Debatte über Strom und Emissionen, über die Verlässlichkeit langfristiger Projektionen (Stichwort „Klimaprognosen“) und über mögliche Auswirkungen auf die belebte Natur oft ein Maß an Unversöhnlichkeit, das an den Streit um die friedliche Nutzung der Kernenergie erinnert.



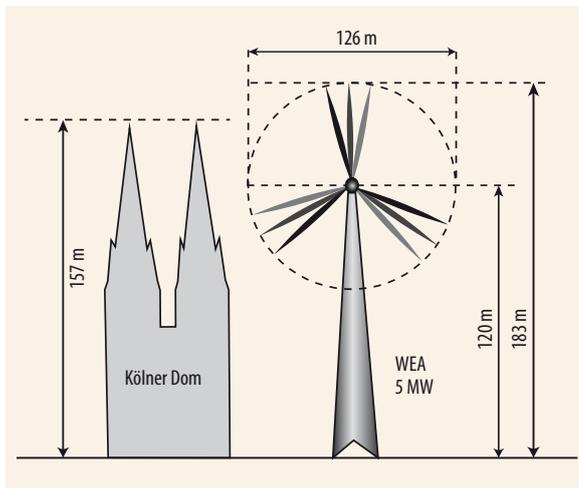
Fotolia, Pyszku

Könnten Photovoltaik- und Windenergieanlagen Kohle- und Kernkraft ersetzen?

Ich habe gute Erfahrungen damit gemacht, zuerst die zeitliche Entwicklung der Industrialisierung darzustellen und die Fortschritte der Technik mit den günstigen heutigen Lebensbedingungen in unserem Land zu verknüpfen. Dabei spannt sich der Entwicklungsbogen von der Kohle und den Dampfmaschinen über das Erdöl, Motoren und Strom bis zur Nachrichten- und Informationstechnik, dem Computer und dem Smartphone. Allgemeines Erstaunen löst die Frage an das Publikum aus, wann wohl das Jahr mit der weltweit höchsten Kohleförderung zu verzeichnen gewesen sei. Nach der korrekten Antwort „das Vorjahr“ akzeptieren viele Zuhörer die Schlussfolgerung, dass die Welt noch immer mitten in der Industriellen Revolution steckt. Diese Betrachtung ermöglicht es, die Schärfe und Hektik der heutigen Auseinandersetzung ein wenig zu mildern. Zudem macht sie nachvollziehbar, dass wir noch viel Zeit und zahlreiche neue Entwicklungen brauchen, bis wir umfassend auf Öl, Gas und Kohle verzichten können – obwohl wir alle die Emissionen reduzieren wollen. Dabei haben wir es mit nichts Geringerem als mit einer globalen Jahrhundertaufgabe zu tun.

Das Problem lässt sich durch ein Beispiel aus meiner unmittelbaren Nachbarschaft im Braunkohlerevier von Aachen und Jülich veranschaulichen: Eine Überschlagsrechnung zur Stromproduktion zeigt, dass 2000

Prof. Dr. Christoph Buchal, Forschungszentrum Jülich, Peter Grünberg Institut (PGI), 52425 Jülich – Preisträgerartikel anlässlich der Verleihung des Robert-Wichard-Pohl-Preises 2016 auf der Jahrestagung der DPG in Regensburg



Eine 5 MW-Windenergieanlage ist höher als der Kölner Dom.

Windenergieanlagen (WEA) von je 5 MW (onshore, rund 20 Prozent der Jahresvollast) nötig wären, um ein zuverlässiges Kohle- oder Kernkraftwerk von 2 GW elektrischer Leistung ersetzen zu können. Erst dann bliebe dieselbe Jahresenergieproduktion (GWh) erhalten. Diese Physikern sofort einsichtige Abschätzung bewirkt üblicherweise Erstaunen, hat aber auch schon für Empörung gesorgt: „Wollen Sie damit behaupten, dass Kohle besser ist als Windenergie?“ Wenn ich obendrein den für Windenergieanlagen notwendigen riesigen Flächenbedarf (einige Quadratkilometer pro Anlage) physikalisch begründe – die Windenergieanlagen nehmen einander bei zu dichter Anordnung den Wind weg – können im Publikum Frust und Skepsis anwachsen. Viele Zuhörer äußern sich aber auch ausdrücklich dankbar, dass ich sie ehrlich informiere.

## Kein Weg zurück

Ein einfacher Weg zurück in die „gute, alte, vor-montane Zeit“, ohne Kohle, Öl oder Erdgas, ist der Menschheit verwehrt. Wir hängen längst vollständig von der Technik ab. Eine moderne Gesellschaft ohne Stromversorgung ist undenkbar, eine generelle Technikfeindseligkeit ist in vieler Hinsicht naiv, ja sogar selbsterstörerisch. Mehr noch als die weitgehende Durchdringung unseres Alltags mit Wissenschaft und Technik verhindert das Wachstum der Weltbevölkerung eine einfache Umkehr. In jedem Jahr steigt sie um 80 Millionen an, sodass alle zwölf Jahre eine zusätzliche Milliarde zu ernähren sein wird. Nach neuesten Prognosen wird für 2100 mit über 11 Milliarden Menschen gerechnet. Die Konsequenzen für die Nahrungsmittelproduktion sind einigermaßen vorhersehbar, aber der zusätzliche Bedarf an Arbeit, Wohnraum und Infrastruktur und die Zunahme von Konsum und Wohlstand (oder Armut und Konflikten) lassen sich kaum abschätzen.

Dazu ein Beispiel: 2015 wurden in Deutschland 5,7 Millionen PKW produziert, weltweit waren es über 80 Millionen. Seriöse Prognosen sagen bis 2050 einen Anstieg der weltweiten Anzahl von Fahrzeugen

von heute ca. 1,2 Milliarden auf über zwei Milliarden vorher. Ein vergleichbares Wachstum wird auch die Luftfahrt verzeichnen. Damit sind zudem Herausforderungen für die Kraftstoffversorgung und die Infrastruktur verbunden sowie zusätzliche Emissionen.

Ich bemühe mich, solche Prognosen nicht zu dramatisieren. Die Zukunft ist offen, und ich stelle den kommenden Herausforderungen die vielen positiven Entwicklungen und die großen Erfolge der Vergangenheit gegenüber. Derzeit scheinen sich die beängstigenden globalen Szenarien durch ihre allgegenwärtige mediale Verbreitung wieder zu verschärfen. Das ist mit Sicherheit ein Zerrbild: Historisch betrachtet ist unser Alltag wesentlich erträglicher und sicherer geworden. Die großen Errungenschaften von Medizin und Hygiene sind jedem Auditorium unmittelbar einsichtig, die segensreichen Ertragsverbesserungen der modernen Landwirtschaft dagegen kaum. Sie lassen sich anhand der bisherigen Bevölkerungsentwicklung eindrucksvoll erläutern und eignen sich, um den optimistischen Blick in die Zukunft zu stärken. In der Zeit um 1960 wurden rund zwei Milliarden der damals drei Milliarden Menschen ausreichend ernährt – heute sind es mehr als dreimal so viele. Die notwendige Ertragssteigerung gelang im Wesentlichen ohne einen Mehrbedarf an Flächen. Einen wichtigen Anteil daran haben auch Chemie und Physik, denn die Stickstoff-Mineraldünger werden mit Hilfe der Hochdruck-Ammoniak-Synthese (Haber-Bosch) produziert.

Ein ausreichendes Energieangebot ist zwar unverzichtbar für einen vernünftigen Lebensstandard, aber noch wichtiger ist die Versorgung mit Lebensmitteln. Zum Verständnis hilft eine einfache Faustregel anhand von Durchschnittswerten aus Deutschland: Unser Stoffwechsel leistet ca. 100 W, um uns am Leben zu halten. Die dafür benötigte Energie liefern die verzehrten Lebensmittel. Zusätzlich nutzen wir fast 1 kW an elektrischer Leistung und in der Summe umgerechnet ca. 5 kW an Primärenergie (für Wärme, Strom, Treibstoffe etc.). Im technischen Sektor wird somit rund fünfzigmal mehr Energie umgesetzt als beim direkten menschlichen Verzehr. Dies zeigt, wie begrenzt das energetische Potenzial ist, wenn aus dem Lebensmittelsektor (Stärke, Zucker, Öle, Fette) Energieträger im nennenswerten Umfang abgezweigt werden sollen für Treibstoffe, Stromerzeugung oder Wärmebedarf. Zusätzlich steigt weltweit die Nachfrage nach Futtermitteln (Getreide, Soja), um aus primärer Bio-Energie (Stärke, pflanzliches Eiweiß) tierisches Eiweiß (Milch, Fleisch) zu produzieren. Denn insbesondere in den Schwellenländern verlangen mit wachsendem Wohlstand zunehmend mehr Menschen nach hochwertiger Ernährung.

Energiepflanzen werden keinen wesentlichen Beitrag leisten können, um die fossilen Energieträger zu ersetzen. Im Jahr 2014 betrug der Anteil an Biokraftstoffen in Deutschland 0,8 Prozent am Primärenergiebedarf, Biomasse und Biogas lieferten zusammen 5,8 Prozent. Insbesondere angesichts der katastrophalen gegenwärtigen großflächigen Urwaldrodungen

für Palmöl-Erzeugung als Bio-Energieträger erweist sich eine kreative Entwicklung neuer technischer Lösungen für die Energieversorgung als unabdingbar.

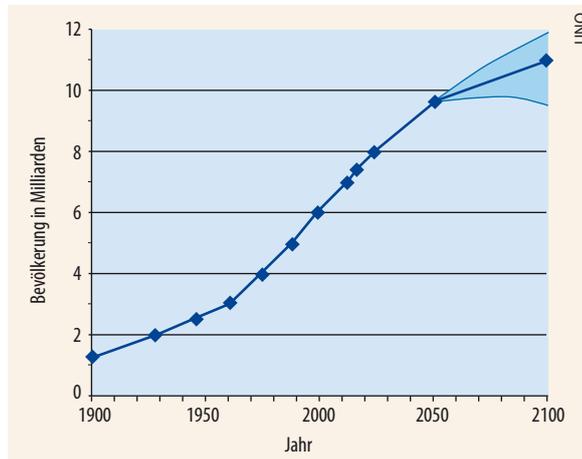
## Große Erfolge der Photovoltaik

Inzwischen dient die Photovoltaik als Beispiel einer technischen Lösung, denn die Produktionskosten entsprechender Anlagen haben eine erstaunliche Erfahrungskurve vorzuweisen. Während eine Dachanlage in Deutschland 1989 ca. 15 000 €/kW peak kostete, ist sie inzwischen für ein Zehntel des Preises erhältlich. Das deutsche EEG hat aufgrund der garantierten Einspeisevergütung mit Einspeisevorrang zuerst die Produktion und Verbreitung der Photovoltaik hierzulande stimuliert, allerdings mit einer erheblichen Kostenbeteiligung für alle privaten Stromkunden. In der Folge entwickelte sich eine globale Massenproduktion mit aggressivem Wettbewerb und fallenden Preisen. Dass die großen Produzenten in Fernost die Bedeutung der Technologie schnell erkannt und dieses Feld erobert haben, war für die deutschen Hersteller zwar extrem schmerzhaft, hat aber die breite globale Einführung dieser neuen Technologie befördert.

In Deutschland sind gegenwärtig ca. 40 GW peak an Photovoltaik-Anlagen installiert, das entspricht einer Fläche von rund 300 km<sup>2</sup>. Weltweit sind über 210 GW peak in Betrieb. Angesichts der Tatsache, dass weltweit noch rund eine Milliarde Menschen keinen Stromnetzanschluss besitzen, bieten Photovoltaik-Anlagen für viele Länder realistische Möglichkeiten, den individuell erzeugten Strom für einfache Anwendungen zu nutzen. Ich halte es deshalb für gerechtfertigt, die weitgehend in Deutschland durchgeführte wissenschaftliche und technische Entwicklung als eine erfolgreiche globale Entwicklungshilfe darzustellen.

Die Entwicklung der Photovoltaik bietet sich an, um einen optimistischen physikalischen und geopolitischen Ausblick zu wagen, denn zusammen mit Elektrolyse und chemischer Technologie ermöglicht sie gegenwärtig die beste technische Annäherung an die geniale natürliche Photosynthese, die mit Hilfe von Sonnenlicht aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O speicherbare Energieträger produziert. Photovoltaik-Strom im Sonnen-gürtel der Erde besitzt das Potenzial, in großem Stil Wasserstoff, Methanol oder andere speicherbare Kohlenwasserstoffe zu produzieren. Dies könnte ein wichtiger Beitrag zur Lösung der Energiefrage und zur Entwicklung dieser Regionen sein, Frieden und Stabilität vorausgesetzt.

Aus technischer Perspektive ist auch die Entwicklung der großen Windräder eine Erfolgsgeschichte, obwohl sie das Landschaftsbild und die Vogelwelt stark beeinträchtigen. Gegenwärtig sind in Deutschland 42 GW an Windenergieanlagen onshore und 3 GW offshore in Betrieb. Zusammen mit der Photovoltaik lässt sich so an einem sonnigen und zugleich windigen Sommertag zur Mittagszeit bereits der gesamte deutsche Strombedarf decken.



Gegenwärtige Prognosen der UNO gehen davon aus, dass die Weltbevölkerung bis 2100 auf 11 Milliarden wächst.

So kann das Bild entstehen, dass Deutschland und viele Industrieländer auf einem guten Weg sind. Viele Menschen wollen für einen wirksamen Klimaschutz sogar eine teurere Energieversorgung in Kauf nehmen. Der „Alleskönner“ Strom soll zukünftig fast alle Aufgaben erledigen und obendrein die kommende Flotte von Elektroautos antreiben.

## Systemtechnische Herausforderungen

Doch diese allzu einfache Bilanz ist irreführend. Wenn eine Vielzahl korreliert fluktuierender Windenergieanlagen und gemeinsam pausierende Photovoltaik-Produzenten die bedarfsgerecht, mit speicherbaren Energieträgern arbeitenden Kern- und Kohlekraftwerke ersetzen sollen, ist ein grundsätzlich neues Konzept für das Energieversorgungssystem nötig. Ein stabiles konventionelles Stromversorgungssystem kann leicht einen begrenzten Anteil an fluktuierender Einspeisung aufnehmen, doch steigt die Herausforderung für alle Systemkomponenten rapide an, wenn mehr als rund ein Drittel der elektrischen Gesamtenergie („Jahresarbeit“) aus fluktuierenden Quellen stammt. 2015 lieferten die Windenergieanlagen in Deutschland 14,5 Prozent, die Photovoltaik-Anlagen 6,3 Prozent der Jahresarbeit. Ein einfaches „Weiter so“ führt aber immer häufiger zu Überproduktion von wertloser, nicht nachgefragter elektrischer Energie. Für die Versorgungssicherheit bleibt ein großer konventioneller Kraftwerkspark unverzichtbar.<sup>1)</sup> Der Arbeitskreis Energie der DPG engagiert sich seit vielen Jahren, um Stromerzeugung, Photovoltaik, Windenergieanlagen, Stromnetze und Stromspeicher, Ökonomie und Strommarkt verständlich zu machen und die Bedeutung der systemübergreifenden Synergien zu erklären.<sup>2)</sup>

Vor allem an Jugendliche und Lehrer richtet sich die Reihe der populärwissenschaftlichen Sachbücher ENERGIE, KLIMA, STROM und MOBILITÄT. Sie setzen sich ausführlich mit der Faktenlage, den wissenschaftlichen Erkenntnissen und der Einführung der erneuerbaren Energien auseinander und zeigen, welche Herausforderungen und Chancen damit ver-

1) Gemeinsam mit Kollegen habe ich daher im Physik Journal die Beitragsreihe zur Energiewende gestartet, vgl. das zugehörige Dossier [www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?qid=5567511](http://www.pro-physik.de/phy/physik/dossier.html?qid=5567511)

2) Beispielsweise erläutert „Physik konkret“ 24 (9/2015) die überlegene Technik der Gebäudeheizung mit Wärmepumpen im Vergleich zur Kraft-Wärme-Kopplung.



Die deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen sanken nur durch das Stilllegen ineffizienter Betriebe nach der Wiedervereinigung deutlich ab. Das EEG trat 2000 in Kraft.

bunden sind. Besonders bei der Mobilität kommt die Energiewende nur sehr schleppend voran, weil Batterien vergleichsweise kostspielig und schwer sind, während die Kohlenwasserstoffe Kerosin, Diesel und Benzin prinzipiell unübertrefflich energiereiche Treibstoffe bilden. Deshalb könnte die globale Dominanz der Erdölprodukte noch für viele Jahrzehnte bestehen bleiben – nur der elektrische Schienenverkehr bildet hier eine bedeutende Ausnahme. Als Konsequenz halten wir die systematische Entwicklung und Förderung des Einsatzes von Brennstoffzellen, insbesondere in Bussen und im Individualverkehr, für dringlich: Das fluktuierende Angebot an überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien bietet sich an, um mit Hilfe der Elektrolyse Wasserstoff als wertvollen Grundstoff für die Industrie und als Treibstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge herzustellen.

Die physikalischen Hintergründe und Herausforderungen der Energiefrage einem Publikum spannend und sachgerecht zu erläutern, ist vergleichsweise einfach: Die Energievorräte der Erde sind endlich, sodass neue, unerschöpfliche Energiequellen nötig sind. Strittig ist der Zeitraum – vor allem wegen der Emissionen. Auch die Klimageschichte der Erde, die Physik der Atmosphäre, der Treibhauseffekt sowie die klimawirksame Rolle der Ozeane in der Temperatur- und CO<sub>2</sub>-Bilanz lassen sich gut darstellen. Besonders lehrreiche Erkenntnisse bieten dabei die nicht-lineare Physik, Turbulenz und Chaos der Strömungen (Jetstream) und die Konsequenzen für das oft chaotische Wettergeschehen. Aus den langfristigen Wetterstatistiken ergibt sich ein Klimabegriff, von dem man sich eine gewisse Stabilität erhofft. Dabei erweist es sich als außerordentlich anspruchsvoll, alle Klimafaktoren zu verstehen, sowohl die stabilisierenden Faktoren als auch zahlreiche Unsicherheiten und die nicht-linearen Kipp-Punkte. In diesem Zusammenhang sehr beeindruckend sind die zahlreichen natürlichen Klimaschwankungen der Vergangenheit, die Anpassungsfähigkeit der lebendigen Natur und der 100 000-jährige Rhythmus der Warm- und Kaltzeiten in unserem gegenwärtigen Erdzeitalter.

Doch gerät jeder Vortragende in eine sehr unangenehme und zwiespältige Situation, wenn er die Wirksamkeit von „Klimaschutz“ und die gegenwärtigen

Emissionen quantitativ darstellen möchte. In den Büchern stelle ich die Fakten nüchtern und sachlich dar, doch in Vorträgen vor Jugendlichen halte ich mich bewusst zurück und erwähne nur, dass es zuerst eines gewissen allgemeinen Wohlstands der Bevölkerung bedarf, bevor viele Länder einen kostspieligen Umweltschutz in großem Maßstab realisieren können. Ich überspringe daher folgende Daten: Bisher ist die Bilanz der anthropogenen Emissionen ernüchternd. Gegenwärtig steigen die globalen Emissionen von derzeit ca. 36 Gt CO<sub>2</sub>/a um 0,8 Gt CO<sub>2</sub>/a an. Auch der CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre wächst im Rhythmus der Jahreszeiten ständig. Allein die jährliche Zunahme der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen entspricht gegenwärtig etwa dem gesamten deutschen Beitrag von ca. 0,9 Gt CO<sub>2</sub>/a, das sind 2,5 Prozent der globalen Emissionen. Unser Land umfasst ca. 1,1 Prozent der Weltbevölkerung. Die seit 2000 in Deutschland erzielte Reduktion beträgt vier Promille der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen und schwächt die Befürchtungen um einen globalen Temperaturanstieg nicht ab.

Deshalb lautet mein persönliches „Mantra“, dass es vor allem der Weiterentwicklung bezahlbarer und attraktiver Vorbilder für emissionsarme Technologien bedarf. Als Beispiele dienen Photovoltaik und Windkraft, auch wenn damit allein ein emissionsarmes Gesamtsystem nicht zu realisieren ist. Nur realistische und nicht allzu kostspielige Vorbilder haben eine Chance, weltweit akzeptiert und damit effektiv wirksam zu werden. Darin liegen große Herausforderungen für Wissenschaft und Technik, vor allem auch persönliche und berufliche Chancen für den Nachwuchs. In meinen Vorträgen versuche ich, auf diese Weise sachgerechte Informationen mit einer optimistischen Grundhaltung zu verbinden, um so die kreativen Kräfte freizusetzen, die wir zur Bewältigung der zukünftigen Aufgaben dringend brauchen.

\*

Ich danke der DPG sehr herzlich für die Würdigung dieser langjährigen Bemühungen durch die Verleihung des Robert-Wichard-Pohl-Preises.

#### DER AUTOR

**Christoph Buchal** arbeitet als Festkörperphysiker seit 1973 am Forschungszentrum Jülich, unterbrochen durch mehrjährige Auslandsaufenthalte. Er unterrichtet an der Universität zu Köln sowie am Science College Overbach (Jülich). Seine populärwissenschaftlichen Bücher erreichen eine Gesamtauflage von über 400 000 Exemplaren und sind im Handel oder über den MIC-Schulshop zu beziehen. 2014 erhielt er für seine Bildungsarbeit eine WE-Heraeus-Seniorprofessur.



Rohrer / DPG