

Physiker: Leistungsdichte entzaubert Energiewende – hoher Flächenverbrauch von „Erneuerbaren“

Die Energieversorgung beruht auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Aus dieser Perspektive beobachtet der Diplom-Physiker Dieter Böhme die deutsche Energiewende bereits seit Jahren. Im Interview verrät er, warum Windkraft- und Photovoltaikanlagen keine idealen Stromgeneratoren für eine Industrienation sind.

[Maurice Forgeng](#) 9. März 2025



Damit die Stromerzeugung eines Landes zuverlässig funktioniert, müssen die Betreiber die für diesen Bereich relevanten physikalischen Gesetzmäßigkeiten beachten. Mit immer mehr Windkraft- und

Photovoltaikanlagen (PV) im Zuge der Energiewende spielen die Faktoren dieser wetterabhängigen Kraftwerksarten eine zunehmend prägende Rolle.

Bereits seit einem Jahrzehnt beschäftigt sich der Diplom-Physiker Dieter Böhme mit der deutschen Energiewende. Im Juni dieses Jahres hatte er die Gelegenheit, bei einem Ausschuss des Deutschen Bundestages eine [Stellungnahme](#) zur Umsetzung einer EU-Richtlinie über „erneuerbare“ Energien abzugeben.

Angesichts der vielen Windräder in Deutschland stellte sich Böhme in den vergangenen Jahren die Frage: „Wann ist diese Energiewende zu Ende?“ Er kam zu dem Schluss, „dass man da schnell in einen Abgrund blickt“.

Epoch Times sprach mit dem Diplom-Physiker über Grenzen und Chancen der Erneuerbaren und Verbesserungspotenzial der deutschen Energieversorgung.

Herr Böhme, im erwähnten Ausschuss des Deutschen Bundestages gingen Sie auf die geringe Leistungsdichte der Erneuerbaren ein. Können Sie einen Vergleich aufstellen zwischen der Leistungsdichte von PV, Wind-, Wasser-, Kohle- und Kernkraft?

Zunächst einmal zur Begrifflichkeit: Energie ist nicht „erneuerbar“, sondern kann gemäß Energieerhaltungssatz nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. „Erneuerbar“ sind die Primärenergieträger wie Wind, Sonne, Biomasse. Allerdings sind genau deren Limitierungen, wie beispielsweise die geringe Leistungsdichte, die Achillesferse der „Erneuerbaren“.

Der Begriff „Leistungsdichte“ kommt in den Medien praktisch nicht vor, obwohl „Energiedichte“ und „Leistungsdichte“ grundlegende physikalische Begriffe sind. Nur damit lässt sich die Größe eines Autotanks berechnen oder der Flächenbedarf von [Windkraft](#), [Photovoltaik](#), Kohletagebauen oder Biogasanlagen.

Ein Beispiel: Mais hat eine bestimmte Energiedichte, messbar in

Kilowattstunden pro Kilogramm Biomasse. Angenommen, man hätte zwei Ernten statt einer pro Jahr, dann bliebe die Energiedichte von Mais die gleiche, aber die Gesamtmasse für die Biogasanlage würde sich verdoppeln und damit deren Leistung. Wenn dies bei zwei Ernten bei gleicher Ackerfläche geschähe, würde sich die Leistungsdichte pro Landschaftsfläche verdoppeln.

Zur Veranschaulichung: Die Leistungsdichte von Mais beträgt 0,2 Megawatt pro Quadratkilometer (MW/km^2) oder Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Damit könnte man auf der Fläche Deutschlands $357.592 \text{ km}^2 \times 0,2 \text{ MW}/\text{km}^2 = 71,5 \text{ Gigawatt (GW)}$ erhalten. [Die Netzlast](#) beträgt in Deutschland derzeit rund 70 GW in der Spitze, im Schnitt liegt sie bei rund 50 GW. Das heißt, mit Mais würde die gesamte Fläche von Deutschland gerade zur Stromerzeugung reichen.

Vom Fünffachen für eine Energiewende in der Größenordnung von 360 GW ist gar nicht erst zu reden. Dies konterkariert auch das Narrativ vom „Energimix“, der angeblich vieles ausgleichen soll, wenn Wind und Sonne schwächeln.

Im Folgenden ein Vergleich der Leistungsdichten, es geht dabei um die Größenordnungen.

- **Biomasse:** 0,2 bis 0,5 W/m^2 Ackerfläche, je nach Pflanzenart und Region.
- **Windkraft:** 0,5 bis 2,0 W/m^2 Landschaftsfläche oder 40 W/m^2 Rotorfläche im Binnenland.
- **Photovoltaik:** 10 bis 15 W/m^2 Solarmodul in Deutschland. Bezogen auf die Landschaftsfläche gibt es eine große Schwankungsbreite, je nach Lage, Neigung und Art der Module.
- **Wasserkraft:** 10 bis 60 W/m^2 entsprechend Wassermasse und Fallhöhe. Der Drei-Schluchten-Damm in China erreicht 21 W/m^2 , einschließlich Staufläche.
- **Braunkohle:** 40 W/m^2 (Mitteldeutschland) bis 90 W/m^2 (Rheinisches Revier). Diese Werte beruhen auf eigenen Berechnungen. Es sind Mittelwerte inklusive Kraftwerke und Tagebaue.

- **Steinkohle:** 400 W/m².
- **Kernenergie:** 700 W/m². Beispiel: Kraftwerk Bruce in Kanada. Hier ist zu erwähnen, dass die in Entwicklung befindliche vierte Generation von Kernkraftwerken wie der [Dual-Fluid-Reaktor](#) auch mit „[Atommüll](#)“ oder Thorium (Th) betrieben werden kann. Dies reduziert den Abbau von Uran und den Flächenbedarf. Der bisherige „Atommüll“ reicht für mehr als hundert Jahre und Thorium für etwa 1.000 Jahre weltweit.

Leistungsdichte ausgewählter Energieträger: Innerhalb Windparks müssen lediglich technische, aber keine gesundheitlichen Abstände eingehalten werden, weshalb sie weniger Fläche erfordern als einzelne Windräder. Foto: ts/Epoch Times nach Dipl.-Phys. D. Böhme

Flächenbedarf ausgewählter Energieträger zur Bereitstellung von 70 GW. Dies entspricht der maximalen Netzlast (Strom) Deutschlands, die, sollte sie durch Biomasse gedeckt werden, 98 Prozent der Landesfläche erfordert. Die Quadrate innerhalb PV umfassen: Wasserkraft, Braun- und Steinkohle sowie Kernkraft. Foto: ts/Epoch Times mit Material von

In der Tabelle wurde die (maximale) Leistungsdichte für Windenergie unter Annahme einer Windgeschwindigkeit von 11 Meter pro Sekunde (m/s) und einem realen Wirkungsgrad von 0,25 zu 204 W/m² berechnet. Dies stimmt gut mit Branchenangaben überein. Da der Wind mitnichten immer mit 11 m/s weht, muss dieser Wert auf etwa 20 Prozent (entsprechend 1.750 Volllaststunden), also auf die mittlere Leistungsdichte heruntergerechnet werden. Das entspricht 40 Watt pro Quadratmeter Rotorfläche.

Pro Quadratmeter Rotorfläche könnte man rund um die Uhr beispielsweise eine Glühlampe mit 40 Watt betreiben, wenn man den Strom speichern könnte, was großtechnisch an der bereits erwähnten Dimension scheitert. Allein für 40 GW Strom (gut die Hälfte der Spitzenlast) bräuchte es also circa eine Milliarde Quadratmeter – oder 1.000 km² – Rotorfläche. Die geringe Leistungsdichte ist durch die geringe Dichte der Luft bedingt, die über 800-fach geringer ist als die von Wasser. Für eine Energiewende wäre das Fünffache an Strom nötig: circa 5 Milliarden m², und dies ohne die Wirkungsgradverluste der Speicherung zu berücksichtigen.

Bezogen auf die Landschaftsfläche gibt der [MDR](#) eine Leistungsdichte von 2,0 bis 0,5 W/m² als Maximum der Atmosphäre entnehmbare Leistung an. Diese Werte beruhen auf einer Studie des Max-Planck-Instituts in Jena. Aus dieser Sicht ist die Leistungsdichte also noch geringer, da sie nicht nur das einzelne Windrad betrachtet, sondern auch die Tatsache, dass sich Windräder gegenseitig den „Wind klauen“.

Eine kleine Rechenaufgabe:

a) Wie viele Windräder mit welchem Rotordurchmesser sind gemäß den beiden bereits erwähnten Angaben nur für den Strom beziehungsweise für eine Energiewende erforderlich, bei der man 40 GW mittels Windkraft generiert? Und b) Wie dicht stehen die Windräder dann auf der Fläche von circa 360.000 km² von Deutschland? Man kann die schiere Dimension

nur begreifen, indem man sie selbst berechnet.

[Die Lösung folgt am Ende des Interviews.]

Dennoch haben die Erneuerbaren auch Vorteile, beispielsweise dezentralere Einsatzmöglichkeiten. Können diese Vorteile die Schwächen ausgleichen?

Die genannten Vorteile können die Nachteile nur punktuell ausgleichen, nicht aber im volkswirtschaftlichen Maßstab. Der dezentrale Einsatz kann ein Vorteil sein, wie bei Solarmodulen für Inselösungen (Gartenhäuser, Baustellenampeln ...) oder für den mobilen Einsatz (Boote, Wohnmobile ...). Aber dies erreicht nicht die Dimension, um ein Industrieland mit Strom und Primärenergie (Strom, Verkehr, Heizwärme, Industriewärme) zu versorgen.

Manche Leute hegen Illusionen, indem sie von ihrem Eigenheim oder ähnlichem auf das ganze Land inklusive der Industrie schließen. Doch um dies abzuschätzen, muss man über Größenordnungen hinwegrechnen, was die wenigsten gewohnt sind. Kilowattstunden (kWh) kennt jeder von seiner Stromrechnung. Doch in Bezug auf das Land geht es um Terawattstunden (TWh). „Kilo“ ist, wie wohl jeder weiß, eine Zahl mit drei Nullen, „Tera“ eine mit zwölf Nullen.

Ein Tag Stromerzeugung entspricht etwa dem 200-Fachen des Pumpspeicherkraftwerks Goldisthal – dem größten in Deutschland – oder rund 17 Millionen [E-Autos](#) mit großem 100-kW-Akku oder dem Hochpumpen des Bodenseewassers um rund 13 Meter. Und dabei deckt Strom „nur“ etwa ein Fünftel, also 20 Prozent des gesamten Energiebedarfs (Primärenergie).

Und wie sieht es mit den oft als Argument aufgeführten niedrigeren CO₂-Emissionen aus?

Die These von [den geringen Emissionen](#) wäre näher zu betrachten. Die Produktion von beispielsweise Siliziumsolarzellen verursacht einen sehr hohen Energieaufwand. Manche Studien sagen, die Energiebilanz

(Energieerntefaktor) sei sogar negativ. Doch die Herstellung findet in [China](#) und Indien statt. Da kann man sich die bei uns [anfallenden Emissionen](#) auf dem Papier gegebenenfalls wunderbar schön rechnen.

Nehmen wir das bei uns viel diskutierte Thema CO₂. Das Pariser Klimaabkommen der UN unterscheidet laut [Artikel 4/\(4\)](#) zwischen entwickelten Ländern und Entwicklungsländern. Letztere sollen nur „ermutigt“ werden, sich zu überlegen, wann sie sich Ziele zur Senkung ihrer CO₂-Emissionen setzen möchten. Doch gemäß der UN sind China und Indien Entwicklungsländer mit etwa der Hälfte der menschengemachten (anthropogenen) CO₂-Emissionen.

Diese machen auch nur circa vier Prozent aus. 96 Prozent sind [natürliche CO₂-Emissionen](#). CO₂ ist das unverzichtbare [Lebensgas für die Photosynthese](#) aller Pflanzen.

Zudem bewirkt jedes weitere CO₂-Molekül in der Atmosphäre immer weniger, weil die Infrarotabsorption einer Logarithmusfunktion folgt und bereits zu 88 Prozent gesättigt ist. Man nehme ein Glas Wasser und tropfe kontinuierlich Tinte hinein, das Wasser färbt sich schnell, bald aber ist kaum noch eine Veränderung der Schwärzung zu sehen. Dies ist die Sättigung der Absorption (hier von Licht). Das ist elementare Physik.

Sie erwähnten, dass sich die Stromerzeugung in jedem Moment nach dem Strombedarf richten muss. Kann der derzeitige Kurs der Energiewende – beispielsweise mit H₂-Ready-Gaskraftwerken als Reserve – dies erfüllen?

Die großtechnische Speicherung von Strom erfordert die Umwandlung von elektrischer Energie in eine andere Energieform, was stets mit Verlusten entsprechend dem jeweiligen Wirkungsgrad (η) verbunden ist, so auch bei Rückverstromung.

Wenn von [Wasserstofftechnologie](#), also H₂-Ready, die Rede ist, muss man die Prozesskette und deren Wirkungsgrade betrachten. Bei Strom-zu-Gas-zu-Strom wären dies erstens die Elektrolyse ($\eta = 0,7$ bis $0,8$) und

zweitens Transport und [Speicherung](#) ($\eta = 0,85$ bis $0,95$). Hinzu kommt noch die Gasturbine zur Rückverstromung ($\eta = 0,35$ bis $0,55$). Der Systemwirkungsgrad liegt demnach bei $\eta = 0,2$ bis $0,4$. Er ist das Produkt aller Teilwirkungsgrade und damit stets kleiner als der kleinste Teilwirkungsgrad.

Wenn es um die bedarfsbedingte Rückverstromung von chemischer Bindungsenergie in Form von Wasserstoff (H_2) geht, kommt nur eine Wärmekraftmaschine, wie etwa eine Gasturbine infrage. Diese hat einen physikalisch bedingten geringen Carnot-Wirkungsgrad. Bei einer Spitzenlast-Gasturbine beträgt dieser circa $0,35$. Woraus sich der erwähnte geringe Gesamtwirkungsgrad kleiner $0,2$ ergibt.

Demnach wird für fünf Euro Windstrom gespeichert, um am Ende für einen Euro oder weniger wieder Strom zu erhalten. Dies ist der Grund, warum noch niemand anderes auf solch eine Idee gekommen ist. Wasserstoff (Normaldruck) hat nur ein Drittel des Brennwertes von Erdgas, wobei Gasturbinen hinsichtlich des Brennwertes konstruiert sind. Was kennzeichnet dann eine H_2 -Ready-Gasturbine? Wasserstoff ist – in Verbindung mit Sauerstoff – hochexplosiv, diffundiert selbst durch Stahl und versprödet diesen.

Der Bedarf an Süßwasser zur H_2 -Elektrolyse wäre riesig und käme zusätzlich zum Bedarf für Trinkwasser und Landwirtschaft. Beim Import aus Übersee wären Tanker für flüssigen Wasserstoff nötig, der auf unter minus 253 Grad Celsius (20 Kelvin) gekühlt werden müsste und deshalb ständig verdampft. Bei Flüssiggas (LNG) sind es „nur“ minus 160 Grad Celsius, und das ist bereits sehr aufwendig und teuer.

Das Schlagwort „ H_2 -Ready“ ist nach meinem Verständnis eine von Fördergeldern getriebene Illusion, verbunden mit gigantischem Aufwand und einem physikalisch absehbaren Scheitern. Es ist die Möhre, [die dem Esel](#) vor die Augen gebunden wird, um ihn weiter in Richtung [Energiewende](#) zu treiben, um diese Metapher zu benutzen.

Was müsste Ihrer Ansicht nach passieren, damit in Deutschland das

Stromnetz wieder stabiler und die Strompreise wieder günstiger werden?

Der Atomausstieg wurde durch die „Ethikkommission für eine sichere Stromversorgung“ beschlossen und der „Kohleausstieg“ durch die „Kohlekommission“. Beiden Gremien, einberufen durch Kanzlerin Merkel, gehörten Soziologen, Politologen, Bischöfe, Grüne Nichtregierungsorganisationen und weiteren an. Jedoch war darunter kein einziger Kernphysiker oder Energietechniker.

Sodann rief Kanzlerin Merkel beim [Weltwirtschaftsforum](#) in Davos 2020 eine „Transformationen von gigantisch historischem Ausmaß“ aus und bezeichnete dies als Existenzfrage. All dies sind Merkmale einer Agenda, die auf politischen Zielen beruht.

Für ein stabiles Stromnetz und günstigere Strompreise müsste zunächst die von Merkel postulierte „Alternativlosigkeit“ hinterfragt werden. Nur technisch/physikalische Fachleute statt Geisteswissenschaftler und „Experten“ in Talkshows sollten technische Sachverhalte bewerten. Man könnte mit folgenden Maßnahmen vorgehen:

- Windkraftmoratorium zum Schutz von Menschen, Natur und Stromnetz.
- Stopp des Kohleausstiegs, Weiterbetrieb und Reaktivierung bestehender Anlagen.
- Photovoltaik nur für Haushalte mit adäquatem Stromspeicher, was der Stabilisierung der Stromnetze dient.
- Stopp des Baus großer Photovoltaikanlagen auf grünen Wiesen und Feldern.
- Reaktivierung abgeschalteter Kernkraftwerke, soweit technisch möglich.
- Import von billigem russischem Erdgas durch den intakten Strang von Nord Stream 2 und Reparatur der defekten Stränge.
- Gaskraftwerke als Übergangslösung, auch wenn dies teurer ist als Kohlekraft.
- Bau moderner Ultraclean-Kohlekraftwerke (wie sie China hat und neu

baut).

- Bau neuer kleiner Kernkraftwerke (SMR – Small Modular Reactors).
- Bau von Kernkraftwerken der vierten und fünften Generation, betreibbar mit Atommüll und Thorium.
- Förderung der Grundlagenforschung, bei Technologieoffenheit des Marktes ohne Subventionen von Einzellösungen.

Vielen Dank für das Gespräch!

Das Interview führte Maurice Forgeng.

Lösung der Rechenaufgabe

a) Im Schnitt sind Rotorblätter rund 80 Meter lang, der Rotordurchmesser beträgt dann rund 160 Meter. Das ergibt eine Rotorfläche von rund 20.000 m² oder 0,02 km². Für 40 GW sind eine Milliarde Quadratmeter oder 1.000 km² Rotorfläche nötig.

Die Rechnung ist also: $1.000 \text{ km}^2 / 0,02 \text{ km}^2 = 50.000 \text{ Windkraftanlagen}$.

Um also 40 GW Strom aus Windkraft zu erzeugen, wären rund 50.000 Windkraftanlagen nötig.

b) Bei knapp 360.000 km² Landesfläche bedeutet das knapp 7,2 km² pro Windkraftanlage. Von Anlage zu Anlage wären das dann rund 2,68 km. Wobei jedes Windrad in etwa so hoch wäre wie der Berliner Fernsehturm ohne Antenne (250 Meter).

Die Rechnung ist hier: $360.000 \text{ km}^2 / 50.000 = 7,2 \text{ km}^2$. Die zweite Wurzel aus 7,2 km² ist 2,68 km.

Zusatz: Für die Hälfte einer Energiewende (ohne Berücksichtigung der Speicherverluste) wäre es das Fünffache, also ca. 250.000 solcher Windräder, oder alle 1,2 km ein Windrad, die sich gegenseitig den Wind „klauen“. Diese Abschätzung zeigt, dass eine Energiewende, mit „Erneuerbaren“ aufgrund der geringen Leistungsdichten nicht möglich ist.

Dieser Beitrag stellt ausschließlich die Meinung des Verfassers oder des

Interviewpartners dar. Er muss nicht zwangsläufig die Sichtweise der Epoch Times Deutschland wiedergeben.