

## Gedankenexperiment

*Ein Versuch zum Nachweis der sinnvollen Nutzung des Windes zur Stromproduktion.*

Deutschland will bis 2050 den Strom auf 100 % Erneuerbare Energien umstellen. Der Anteil des Stroms am gesamten Energieverbrauch beträgt rund 30 %. Den Hauptanteil zur Stromerzeugung sollen Windräder übernehmen. 30 Milliarden Euro Subventionen fließen jährlich den Energiewendern zu. Sie hinterließen 30.000 grüne Fußabdrücke, und doch beträgt der [Anteil der Windkraft](#) laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) nur 2,8 % des Primärenergieverbrauchs.

Trotz aller Einwände wird weiter ausgebaut. Nach Überzeugung von Dena-Chef Andreas Kuhlmann müsse der Bund wegen Zusagen im Pariser Klimaschutzvertrag den Windstrom trotz wachsender Proteste auf fast das Vierfache von heute [ausbauen](#).

In einem Gedankenexperiment überprüfen wir, ob es prinzipiell überhaupt möglich ist, den elektrischen Energiebedarf durch Strom aus der Windenergie über Deutschland zu decken.

## Grundannahmen

Windenergie ist die kinetische Energie bewegter Luft (von griechisch kinesis = Bewegung). Bei der Umwandlung in elektrische Energie durch eine Windenergieanlage muss die Energie des Windes über die Rotorblätter zunächst in mechanische Rotationsenergie gewandelt werden, die dann über einen Generator elektrischen Strom liefert. Die Wandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie unterliegt, wie alle Energiewandlungen, energetischen „Verlusten“. So kann dem Wind rein physikalisch nicht mehr als 59 Prozent der Leistung entnommen werden. (siehe Betz und Leistungsentnahme). Zusätzlich kommen noch aerodynamische Verluste durch Reibung und Verwirbelungen am Rotorblatt hinzu. Circa weitere zehn Prozent Verluste entstehen durch Reibung in den Lagern und dem Getriebe sowie im Generator selbst, in den Umrichtern und den Kabeln als elektrische Verluste. <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/energiewandlung/>

MARCUS HERNIG

## DIE RENAISSANCE DER SEIDENSTRASSE

DER WEG DES CHINESISCHEN  
DRACHENS INS HERZ EUROPAS



FBV  
TICHSREINBLICK

Storchmann Medien

## Gedankenexperiment

Windkraftenergieanlagen (Windkraftanlagen) sind Energiewandler. Das heißt, sie wandeln kinetische Energie (Bewegungsenergie) in Strom um. In einem Gedankenexperiment soll berechnet werden, wieviel Strom der Bewegungsenergie, die in dem Medium Wind gespeichert ist, mit Hilfe von Windkraft geerntet werden kann. Für die Berechnung wird eine Fläche angenommen, auf die der Wind in Deutschland trifft. Wir bezeichnen sie als Querschnittsfläche. Die physikalischen Bedingungen werden benannt und die Formeln, die eine Berechnung der maximalen Energieernte aus der Windenergie ermöglichen.

## Querschnittsfläche

- Die längste Ausdehnung Deutschlands von Norden nach Süden beträgt in der Luftlinie 876 km, von Westen nach Osten 640 km (640.000 m). List auf der Insel Sylt im Norden, das sächsische Deschka im Osten, das bayerische Oberstdorf im Süden und Selfkant (Nordrhein-Westfalen) im Westen.
- Windenergieanlagen erreichen in unserer Modellrechnung eine Höhe von 300 Metern, die neue Anlagen in den nächsten Jahren erreichen sollen.
- Aus der Länge und Höhe ergibt sich eine Querschnittsfläche von  $640.000 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ , die der Wind über Deutschland, überwiegend aus südwestlicher Richtung kommend, überstreicht.

## Physikalische Bedingungen

- Wir gehen davon aus, dass die Windgeschwindigkeit über diese Querschnittsfläche kontinuierlich weht: 24 Stunden, 365 Tage. Die Windgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit der Luft gegenüber dem Boden. Sie wird normalerweise in „Meter pro Sekunde“ (m/s) gemessen. Um eine Windkraftanlage mittlerer Größe wirtschaftlich zu betreiben, muss die Windgeschwindigkeit in Höhe der Nabe bei etwa 5 m/s liegen. Wir nehmen an, dass die mittlere Windgeschwindigkeit 7 m/s beträgt. Das bedeutet, dass die Querschnittsfläche innerhalb einer Sekunde um sieben Meter in Richtung Lee (windabgewandte Seite) verschoben wird (Volumenstrom).
- Die Luft, ein Mischgas, hat eine Dichte ( $\rho$ ) von 1,26 kg pro Kubikmeter.
- Der maximale Wirkungsgrad ( $c_p$ ), der mit einer Windkraftanlage theoretisch zu erzielen ist (Betz'sches Gesetz) ist  $16/27$  oder 0,59  $c_p$ . Eine Windkraftanlage kann also theoretisch nicht mehr als 59 % der Windenergie ernten.

## Formeln zur Berechnung der Energieernte

Die Energieberechnung erfolgt auf der Grundlage der **Formel zur Berechnung der kinetischen Energie** (Bewegungsenergie). Die Formel zur Berechnung der kinetischen Energie ( $E_{kin}$ ) lautet:

$$E_{kin} = m \cdot v^2$$

Dabei steht „ $m$ “ für die Masse, also eine Maßzahl für die Menge an Materie in einem Objekt, und „ $v$ “ für die Geschwindigkeit des Objekts, oder auch die Rate, in der das Objekt seine Position verändert. Die Angabe erfolgt in Joule (J), der Standardeinheit für kinetische Energie.

- Die kinetische Energie wird in Rotationsenergie  $E_{rot}$

umgewandelt. Sie bezeichnet die erntbare Energie. Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der Formel

$$E_{rot} = c_p \cdot \rho_{Luft} \cdot A_{Anström} \cdot v^3 = c_p \cdot \dot{m} \cdot v^2$$

„ $\dot{m}$ “ ist der Massestrom pro Sekunde der bewegten Luft und berechnet sich wie

folgt:

Anströmfläche

$$A_{\text{Anström}} = 640.000 \text{ m} \cdot 300 \text{ m}$$

mal Bewegungsgeschwindigkeit

5 msek

= Volumen, das pro Sekunde über die Fläche streicht (Volumenstrom)

$$V. = A_{\text{Anström}} \cdot v$$

- Damit der Luftmassenstrom ermittelt werden kann, muss der Volumenstrom  $V.$

mit der Dichte

$\rho$

multipliziert werden

$$m. = V \cdot \rho.$$

Die Berechnung ergibt für „m“:

$$m. = 640.000 \text{ m} \cdot 300 \text{ m} \cdot 5 \text{ msek} \cdot 1,26 \text{ kgm}^3 = 1209600000 \text{ kgsek} \cdot \text{m}^2$$

- Für den Energiebedarf pro Jahr  
 $E_{\text{rot}_t}$

ergibt sich folgender Wert:

$$E_{\text{rot}_t} = c_p \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot A_{\text{Anström}} \cdot v^3 \cdot t_a^2$$

- $E_{\text{rot}_t} = c_p \cdot m. \cdot v^2 \cdot t_a^2$
- $E_{\text{rot}_t} = 0,59 \cdot 1209600000 \text{ kgsek} \cdot \text{m}^2 \cdot 5 \text{ msek}^2 \cdot (3600 \cdot 24 \cdot 365) \cdot \text{sek}$

$$E_{\text{rot}_t} = 2813263488000000000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sek}^2$$

- $E_{\text{rot}_t} = 281.326.348.800.000.000 \text{ J} = 281,32 \text{ PJ}$

Aus der Berechnung ergibt sich eine maximale Energie über die gesamte Windanströmfläche Deutschlands (lückenlos) .

Setzen wir eine Windgeschwindigkeit von 7 m/s in die Formel ein, so erhalten wir einen Wert von 394 PJ (2,91 % des Primärenergieverbrauchs).

## **Der Energiebedarf in Deutschland**

Die Frage, ob es prinzipiell überhaupt möglich ist, den elektrischen Energiebedarf durch Strom aus der Windenergie über Deutschland zu decken, wird durch den tatsächlichen Energiebedarf beantwortet: 2016 betrug der Endenergieverbrauch 13.451 PJ.



Das BMWI geht bei der Windenergie 2016 von einem Primärenergieverbrauch von 380 PJ aus. Die Windenergie soll den Hauptanteil zur Stromerzeugung übernehmen. Der Anteil der Windkraft liegt laut BMWI bei 2,8 % des Primärenergieverbrauchs.



## **Schlussfolgerung und Aussichten**

- Rekordmeldungen über die Einspeisung von Strom aus Windenergie täuschen darüber hinweg, dass über das Jahr gesehen Windkraftanlagen nach der Modellrechnung nicht mehr als einen Anteil von maximal 2,91 % an der Energieversorgung (Primärenergieverbrauch) haben können. Jede zusätzlich gebaute Windkraftanlage trägt nicht zur Stromversorgung bei.
- Die Bewegungsenergie ist verbraucht, der Wind wird immer schwächer. Er würde möglicherweise aus anderen laminaren Schichten nach einigen hundert Kilometern aus höheren Schichten in bodennahe Schichten nachströmen, aber die kinetische Energie ist verbraucht, wodurch nicht unmaßgebliche Auswirkungen auf das Wetter die Folge des massiven Ausbaus von Windkraftanlagen sein werden.

## **Wind Stilling**

Nicht nur in Deutschland wird der Wind immer schwächer. International ist das Problem als Wind Stilling bekannt. Meteorologen haben die ständig zunehmende

Zahl von Windrädern als Ursache im Verdacht. In diesem Sinne [äußerte](#) sich zum Beispiel das Team von Donnerwetter.de, ein privater Wetterdienstleister, der seit dem Beginn der 90er Jahre Wettervorhersagen für Tageszeitungen, Winterdienste, Stadtwerke, Internetseiten und vor allem auch für Radiosender erstellt, in einer Pressemitteilung am 29.05.2015.

Die Meteorologen des Bonner Wetterdienstes Donnerwetter.de teilten mit, dass durch Deutschland ein immer schwächerer Wind wehe. Wurden beispielsweise in Osnabrück in den 1960er-Jahren noch im Jahresmittel Windgeschwindigkeiten von 3,7 Meter pro Sekunde gemessen, seien es inzwischen nur noch 3,2 m/s. Ein Rückgang von über 13 Prozent. An fast allen Wetterstationen im Binnenland, die die Meteorologen analysiert haben, sehe der Trend ähnlich aus. „An den meisten Orten hat die mittlere Windgeschwindigkeit sehr deutlich abgenommen“, sagt Dr. Karsten Brandt. Und er hat einen Verdacht: „Wir glauben, dass die in den letzten 15 Jahren immer massiver ausgebauten Windkraftanlagen die Windgeschwindigkeit beeinflusst haben.“

Der Trend des immer schwächeren Windes sei vor den Windkraftanlagen, auf der offenen See, nicht zu beobachten, sagt Donnerwetter.de: „Im Gegenteil: Auf Norderney oder Helgoland nahm der Wind in den vergangenen 20-30 Jahren sogar ganz leicht zu. Doch bereits kurz hinter der Küste, und damit hinter den ersten Rotoren, registrierten die Donnerwetter.de-Meteorologen in Norddeutschland einen Rückgang der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von 3,8-3,9 m/s auf unter 3,5 m/s.

„Natürlich hat deutschlandweit auch die Zunahme der Bebauung durch Häuser und vor allem Hochhäuser einen leicht bremsenden Effekt“, räumt Brandt ein. „Die bremsende Wirkung der Windkraftanlagen dürfte diesen aber übertreffen.“ Verschiedene Studien unterstützen die Vermutung der Meteorologen. „Dänische Untersuchungen haben gezeigt, dass sogar noch 14 Kilometer hinter einem Windpark die Strömung schwächer ist als davor“, erklärt Dr. Brandt. Ein Effekt, um den sich auch die Betreiber solcher Anlagen Sorgen machen. Wird ein neues Generatorenfeld in der Hauptwindrichtung vor einen bestehenden Rotorenpark gebaut, können die Einbußen über 50 Prozent betragen, haben amerikanische Studien ergeben.

In Norddeutschland steht inzwischen pro 10 Quadratkilometer ein Windrad. Aus der

norddeutschen Luftströmung – so die Folgerung der Meteorologen von donnerwetter.de – wird deshalb mittlerweile so viel Energie gewonnen, dass bei Nordwinden im norddeutschen Binnenland ein schwächerer Wind ankommt. Ähnlich sieht es bei Westwinden aus, die durch die Windkraftanlagen in den Niederlanden und in Belgien abgeschwächt werden.

Das ist nicht nur für die Investoren der grünen Windenergie ein Problem, meint der Donnerwetter.de-Meteorologe: „Der schwächere Wind sorgt für einen geringeren Luftaustausch. Dieser wiederum treibt die Schadstoffkonzentration in unserer Luft in die Höhe. Vor allem im Sommerhalbjahr bedeutet der fehlende Wind auch mehr Hitze im Binnenland und weniger Land-Seewind-Zirkulation. Dazu kommt auch noch, dass durch die Generatoren die Luft erwärmt wird, wie weitere Studien gezeigt haben.“

Bisher gelte der Wind als eine – wenn auch unbeständige und schlecht berechenbare – fast unerschöpfliche Energiequelle. Dass man durch die Windräder etwas seiner Energie abschöpft, galt als zukunftsweisende Errungenschaft. „Doch dass der Mensch dem Wind so viel Energie nimmt“, so das Fazit des Klimatologen, „über diese Konsequenzen sollten wir wohl vor dem weiteren Ausbau der Windenergie noch einmal nachdenken.“

## **Konsequenzen**

Mit jeder neu hinzukommenden Windkraftanlage wächst die Wahrscheinlichkeit, dass eine intensive Versteppung des Bodens stattfindet, da die kühlende Wirkung des Windes verloren geht. In Großstädten, die hinter sogenannten „Windparks“ liegen, wird kein Gasaustausch des Stadtklimas stattfinden. Dies wird eine massive Konzentration von CO<sub>2</sub> zur Folge haben, allein durch das ausgeatmete Gas der Stadtbewohner. Durch die Versteppung verschwindet allmählich der Pflanzenwuchs und aufgrund der mangelnden Kühlung steigt die Bodentemperatur. Da bekanntlich die Pflanzen CO<sub>2</sub> in Sauerstoff umwandeln, ist in unserem näheren Umfeld die Sauerstoffproduktion stark eingeschränkt. Nutzpflanzen verdorren und die bodennahe Atmosphäre heizt sich auf.

Wir haben ihn endlich – den menschengemachten Klimawandel.

Erich Boson

## Quellen:

- <http://scienceblogs.de/frischer-wind/2009/10/12/wie-berechnet-man-die-hohen-abhangige-windgeschwindigkeit/>
- <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/energieerzeugung/>
- [https://www.donnerwetter.de/presse/immer-weniger-wind-durch-immer-mehr-windraeder\\_cid\\_24106.html](https://www.donnerwetter.de/presse/immer-weniger-wind-durch-immer-mehr-windraeder_cid_24106.html)
- <https://www.shz.de/20035687>
- [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energieerzeugung-gesamt-pdf-grafiken.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=34](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energieerzeugung-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=34)

Titelfoto: [Free-Photos](#)



Werbung

André D. Thess

# Sieben Energiewende- märchen?

Eine  
Vorlesungsreihe  
für Unzufriedene



SACHBUCH

 Springer