

Windräder bremsen den Wind - und beeinflussen das Mikro-Klima

Abstract

Ob Windräder den Wind ausbremsen und welchen Einfluss dies auf das Mikroklima hat, wird kontrovers diskutiert. Daher erscheint es sinnvoll, zunächst grundsätzliche Sachverhalte aufzuzeigen. Der Begriff „Erneuerbare Energie“ und die physikalischen Limitierungen für Windrädern (WEA) werden betrachtet. Weiterhin werden die Leistung und die Grenzen der Optimierung von WEA erklärt. Die oft falsch verwendeten Begriffe Energie und Leistung werden beleuchtet. Auch wird die These betrachtet, ob durch immer größere Windräder eine Steigerung der Leistung möglich ist. Dazu wird gezeigt, wie durch die Entnahme von Energie aus der Luft die Windgeschwindigkeit vermindert und dadurch die Leistung von Windparks beeinflusst wird. Der Einfluss von Windrädern auf das Mikroklima wird erklärt und ein Ausblick bezüglich der Energieentnahme aus der Atmosphäre gegeben. Denn der Atmosphäre über Deutschland wird durch Windräder täglich die Energie von 20 Hiroshima-Bomben entzogen.

Woher kommt die Energie für die Windräder?

Die Bezeichnung „Erneuerbare Energien“ ist ein Euphemismus, denn Energie kann nicht „erneuert“, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Dies ist der Energieerhaltungssatz der Physik, auch als 1. Hauptsatz der Thermodynamik bekannt. Versuche, diesen zu umgehen, sind unter der Bezeichnung „Perpetuum Mobile“ bekannt, und allesamt gescheitert. Wenn ein Windrad Strom erzeugt, oder besser gesagt, elektrische Energie, dann muss diese aus einer primären Energiequelle kommen. Dies ist der Wind, oder besser gesagt, die kinetische Energie (Bewegungsenergie) der Luft. Doch auch die Luft bewegt sich nur unter Zufuhr von Energie. Diese liefert die Sonne als Motor des Wetters, welches die Luftströmungen antreibt. Die Sonne wiederum ist ein Kern-Kraftwerk, genauer gesagt ein Kernfusions-Kraftwerk, welches Wasserstoff- zu Helium-Kernen verschmilzt. Der dabei auftretende Massenverlust „m“ wird, gemäß der wohl bekanntesten Einstein-Formel $E = m c^2$

in Wärmeenergie umgewandelt (E - Energie, c - Lichtgeschwindigkeit). Die Sonne liefert der Erde seit diese existiert elektromagnetische Strahlungsenergie, uns als Licht bekannt. Und sie wird dies noch einige Mrd. Jahre tun, bis sie zum „roten Riesen“ wird. Das „Kernfusions-Kraftwerk Sonne“ liefert der Erde Strahlungsenergie für eine sehr lange Zeit. Man könnte dies als „nachhaltig“ bezeichnen, nicht aber als „erneuerbar“.

Die Physik der Windturbine

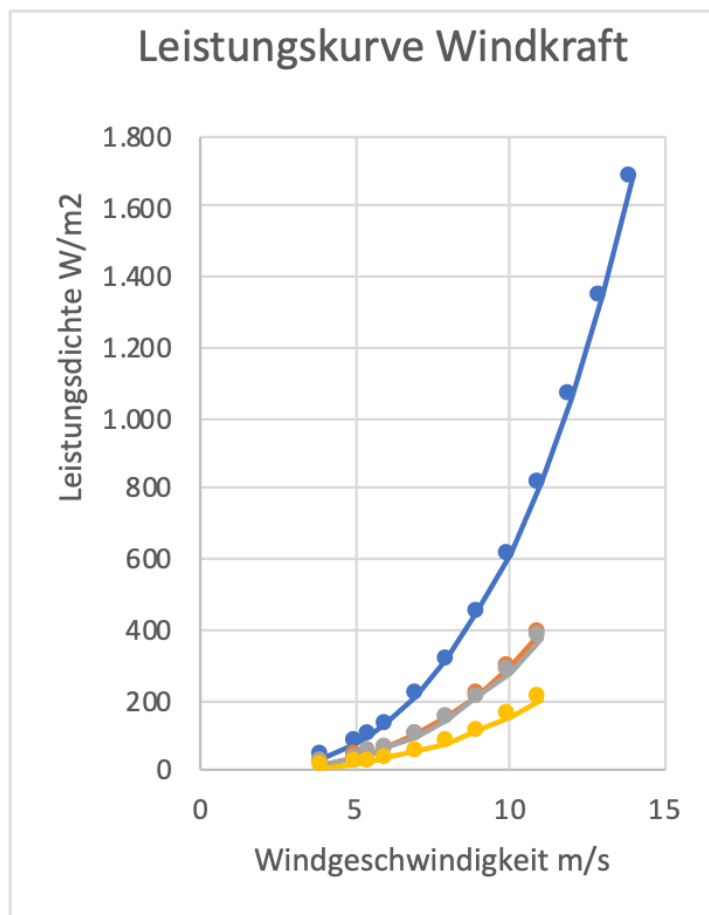
Die Energie, die ein Windrad (WEA) antreibt, ist die kinetische Energie, die Bewegungsenergie (E) des Windes. Sie wird durch die Formel $E = \frac{1}{2} m v^2$ beschrieben ^(Formel-1) (m- Masse der Luft, v – Geschwindigkeit) mit der Maßeinheit (Ws). Ersetzt man die Masse der Luft mit deren Dichte ρ und dem Volumen V, welches die Rotorfläche A mit der Geschwindigkeit v anströmt, erhält man die dem Windrad dargebotene Windleistung (P) zu: $P = \frac{1}{2} A \rho v^3$ (Maßeinheit W). ^(Formel-2) Um von der jeweiligen Rotorfläche unabhängig zu sein, wird die Leistung (P) ins Verhältnis zur Rotor-Fläche (A) gesetzt. Pro Quadratmeter Rotorfläche wird der WEA also eine Leistungsdichte (Pd - power-density) von $\frac{P}{A} = Pd = \frac{1}{2} \rho v^3$ (Maßeinheit W/m²) dargeboten. ^(Formel-3) Der Begriff „Leistungsdichte“ bezieht sich hier auf die Leistung (W) pro Quadratmeter (m²) Rotorfläche. Die Dichte der Luft ist $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Diese kann

für die Abschätzung als konstant betrachtet werden, da sie linear in die Formel eingeht, während die Geschwindigkeit v mit der dritten Potenz eingeht, was gravierende Auswirkungen hat. Betrachtet sei repräsentativ eine Schwachwindanlage für das Binnenland, wie die Siemens SWT-3.15-142, für welche die technischen Daten verfügbar sind. ⁽¹⁾

Die Physik der Windturbine erklärt am Beispiel einer WEA

Laut Datenblatt hat die Siemens SWT-3.15-142 eine Nennleistung von 3,15 MW bei einer Leistungsdichte von 199 W/m² (Watt pro Quadratmeter Rotorfläche) bei einer Nenn-Windgeschwindigkeit von 11 m/s. Bei dieser Geschwindigkeit bietet ein Quadratmeter Luftsäule dem Windrad eine Leistungsdichte von $P_N = 815 \text{ W/m}^2$ an. Multipliziert dem Wirkungsgrad c_p wird die Leistungsdichte der strömenden Luft gem. Formel-3 in die elektrische Leistungsdichte der WEA umgesetzt.

Grafik 1: Eigene Berechnungen gem. Formel-3



blaue Kurve – der WEA vom Wind dargebotene Leistungsdichte. Diese steigt mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit unabhängig vom Typ der WEA.

orangene Kurve – maximaler Wirkungsgrad Dreiflügler $c_p = 0,48$ (s. Kapitel. „Grenzen der Optimierung von Windrädern“)

graue Kurve – max. praktischer Wirkungsgrad o.g. WEA $c_p = 0,46$ im optimierten Bereich

gelbe Kurve – praktischer Wirkungsgrad o.g. WEA $c_p = 0,25$ außerhalb des optimierten Bereiches

Der Bereich zwischen der **gelben** und der **grauen** Kurve ist der Arbeitsbereich der WEA, dargestellt am (typischen) Beispiel einer Siemens SWT-3.15-142.

Deren Nenn-Windgeschwindigkeit 11 m/s entspricht 39,6 km/h (ab 6 Beaufort).

Die Einschalt- Windgeschwindigkeit von 4 m/s entspricht 14,4 km/h (ab 3 Beaufort, schwache Brise)

Die Grafik 1 gilt nicht nur für die o.g. Siemens WEA, sondern generell. Alle WEA, unabhängig vom Hersteller, können ihre Leistung nur unterhalb der **orangenen Kurve** generieren, die den max. Wirkungsgrad $c_p=0,48$ für Dreiflügler darstellt (s. Kapitel. „Grenzen der Optimierung von Windrädern“). Diese Kurve ist fast deckungsgleich mit der **grauen Kurve** ($c_p=0,46$) die den Stand der Technik repräsentiert. Diese Kurven wären bei Offshore-WEA gem. Formel-3 bis zur Windgeschwindigkeit (typisch 12 m/s) zu verlängern. Denn die dem Windrad dargebotene Leistungsdichte ist unabhängig vom Typ der WEA, da sich dieser Wert allein auf die anströmende Luftsäule vor der WEA bezieht. Bei größeren Windgeschwindigkeiten (**blaue Kurve** – dargestellt bis 14 m/s) wird der WEA eine erheblich größere Windleistung dargeboten. Bei der doppelten Windgeschwindigkeit von 22 m/s

wären dies anstatt 815 W/m^2 dann 6.520 W/m^2 , also das Achtfache (in Abhängigkeit von der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit, also dem Faktor $2^3 = 8$). Diese hohe Leistungsdichte von $6,52 \text{ kW/m}^2$ Rotorfläche kann die WEA nicht umsetzen, weil die Rotordrehzahl und damit die Fliehkräfte der Rotorflügel zu groß wären, so dass der Rotor zerstört würde. Denn die Fliehkraft steigt mit dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit der Rotorflügel. Ohnehin rotieren die Spitzen der Rotorflügel bei Nennwind-Geschwindigkeit mit einer Bahngeschwindigkeit, vergleichbar mit der eines Formel-1 Autos von etwa 300 km/h . Die Wirkung der Fliehkraft in Abhängigkeit von der Drehzahl kann man an einem Ketten-Karussell gut nachvollziehen. Bereits die geringe Steigerung der Nenn-Windgeschwindigkeit von 11 m/s einer bestimmten WEA im Vergleich zu einer WEA mit einer Nenn-Windgeschwindigkeit von 12 m/s bringt eine Steigerung der vom Wind dargebotenen Leistung von 815 W/m^2 auf 1.058 W/m^2 . Die Nenn-Leistung aller WEA wird durch die dargebotene Leistungsdichte bei Nenn-Windgeschwindigkeit bestimmt. Diese ist bei Offshore-Anlagen typisch 12 m/s und bei Schwachwind-Anlagen typisch $10\text{-}11 \text{ m/s}$.

Tabelle 1: Eigene Berechnungen gem. Formel 3: Leistungsdichten P_d bei Geschwindigkeiten v für das Wind-Dargebot und bei Wirkungsgraden $c_p=0,48$ (theoretisch) sowie $c_p=0,46$ und $c_p=0,25$ (praktisch lt. Datenblatt). ⁽¹⁾

Geringe numerische Abweichungen ergeben sich aus den gerundeten Wirkungsgraden.

Beaufort	$v \text{ (m/s)}$	$P_d\text{-wind (W/m}^2\text{)}$	$P_d\text{-max } C=0,48 \text{ (W/m}^2\text{)}$	$P_d\text{-}c_p=0,46 \text{ W/m}^2$	$P_d\text{-}c_p=0,25 \text{ W/m}^2$
6	14	1.681			
6	13	1.346			
6	12	1.058			
5	11	815	391	375	204
5	10	613	294	282	153
5	9	447	214	205	112
4	8	314	151	144	78
4	7	210	101	97	53
4	6	132	64	61	33
3	5,5	102	49	47	25
3	5	77	37	35	19
3	4	39	19	18	10

Der Arbeitsbereich der WEA spielt sich, limitiert durch das Dargebot an Leistungsdichte des Windes und den max. Wirkungsgrad $c_p=0,48$ für Dreiflügler, im Bereich von ca. $20\text{--}200 \text{ W/m}^2$ Rotorfläche ab. Der maximale Wirkungsgrad $c_p=0,46$ liegt hier bei einer Windgeschwindigkeit von ca. 6 m/s , optimiert bzgl. der Wind-Häufigkeitsverteilung (Weibull-Verteilung) ⁽³⁾

Tabelle 1: Bei Nenn-Windgeschwindigkeit von 11 m/s beträgt die dargebotene Leistungsdichte des Windes 815 W/m^2 Rotorfläche. Daraus generiert die Siemens SWT-3.15-142 (Datenblatt) eine elektrische Leistung von 199 W/m^2 , was einem Wirkungsgrad von ca. $0,25$ entspricht. Bei halber Windgeschwindigkeit von $5,5 \text{ m/s}$ sinkt das Dargebot des Windes von 815 W/m^2 auf 102 W/m^2 (entsprechend $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$). Daran erkennt man den drastischen Leistungsabfall, der dem Windrad dargebotenen Windleistung auf ein Achtel, bei Halbierung der Windgeschwindigkeit. Bei der Einschalt-Windgeschwindigkeit von 4 m/s der o.g. WEA ergibt sich die vom Wind dargebotene Leistung zu 39 W/m^2 und die von der WEA erzeugte Leistung zu ca. 10 W/m^2 Rotorfläche. Den höchsten Wirkungsgrad von ca. $0,46$ hat die WEA bei einer Windgeschwindigkeiten von 6 m/s bzw. im Bereich von $5\text{--}8 \text{ m/s}$, was Windstärke vier (4 Beaufort, moderate Brise) entspricht. Eine Herleitung der Formeln zur Physik der Windturbine kann der Literatur entnommen werden. ⁽²⁾

Das Dargebot an Leistungsdichte des Windes steigt also mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Jedoch sind sehr hohe Windgeschwindigkeiten (ab 6 Beaufort, 11 m/s) im Binnenland selten. Außerdem müssen die Rotorflügel dann aus dem Wind gedreht werden. Man kann sich bei Windgeschwindigkeiten $> 11 \text{ m/s}$ die **gelbe Kurve** bei etwa 200 W/m^2 waagerecht verlängert bis zur Abschalt-Geschwindigkeit von $22,5 \text{ m/s}$ vorstellen. Über den gesamten Arbeitsbereich der WEA ($4\text{--}22,5 \text{ m/s}$) variiert die Leistungsdichte zwischen 30 bis 200 W/m^2 . Das gesamte Wirken der WEA spielt sich praktisch zwischen der **gelben** und der

grauen Kurve ab. Die **graue Kurve** (Wirkungsgrad 0,46) zeigt auch, dass der maximale Wirkungsgrad eines Dreiflüglers (0,48 **orangene Kurve**) faktisch erreicht ist und sich nicht mehr steigern lässt. Im optimierten Bereich zwischen 5 – 8 m/s werden Leistungsdichten um die 100 W/m² plus/minus erreicht. Das heißt, durch einem Quadratmeter Rotorfläche könnte etwa eine 100 W Glühbirne betrieben werden. Daran erkennt man den gigantischen Materialaufwand bei einem Windrad, um eine sehr überschaubare elektrische Leistung zu generieren. Doch damit nicht genug, die in der o.g. Grafik-1 oder u.g. in der Tabelle-1 genannten Leistungsdichten gelten, solange der Wind mit der betreffenden Geschwindigkeit weht. Da dies nicht immer der Fall ist, gibt es den Begriff der Volllaststunden, welcher die Stunden angibt, bei der so getan wird, als liege während dieser Zeit Nennleistung an. Bei einer Jahresstundenzahl von 8.760 entsprechen realistische ca. 20% mittlerer Auslastung einer Volllaststundenzahl von 1.752. Legt man dies dem Vergleich zu Grunde, reduzieren sich die o.g. 100 W/m² im Mittel auf ca. 20 W/m². Die beachtliche Megawatt Nennleistung einer WEA kommt allein aufgrund ihrer schieren Größe zu Stande. Aus dem Rotor-Durchmesser von 142 m ergibt sich eine Rotorfläche von 15.829 m², was mehr als zwei Fußballfelder (je 105 x 68 m) entspricht. Eine WEA kombiniert einen riesigen Materialaufwand mit einer sehr geringen Leistungsdichte. Daraus ergibt sich ein enorm hoher Landschaftsverbrauch.

Die geringe Leistungsdichte einer WEA hat den physikalischen Grund in der geringen Dichte der Luft, denn in die Formel-3 der Leistungsdichte geht neben der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit auch die geringe Dichte der Luft von ca. 1,225 kg/m³ ein. Wasser hat eine Dichte von 1.000 kg/m³, die damit um das über 800-fache größer ist, als die Dichte der Luft. Da für eine Wasserturbine die gleiche Physik bzgl. der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums (Formel-3) gilt, ist die Leistungsdichte einer Wasserturbine um mehr als das 800-fache größer, als die einer Windturbine. Wobei noch ein höherer Wirkungsgrad hinzukommt.

Die Grenzen der Optimierung von Windrädern

Der physikalisch maximal mögliche (theoretische) Wirkungsgrad von Windturbinen beträgt 0,59. ⁽²⁾ Da sich dieser Wert auf eine theoretische ungestörte Aerodynamik bei laminarer Strömung bezieht, kann er praktisch nicht erreicht werden. Die Siemens SWT-3.15-142 sei dafür ein Beispiel. Sie hat bei Windgeschwindigkeiten von 5-8 m/s ihren höchsten Wirkungsgrad von ca. 0,46. Aus diesem Wert zu schlussfolgern, dass noch reichlich Optimierungspotential bis zum theoretischen Wirkungsgrad von 0,59 möglich sei, ist falsch. Denn alle modernen WEA sind „Dreiflügler“, und damit bereits die physikalisch optimalste Form einer WEA, weil hier die einzelnen Rotorblätter die Anströmung des nachlaufenden Rotorblattes am wenigsten stören. Mehr als drei „Flügel“ würden den Wirkungsgrad verringern. Der dafür relevante Parameter ist die „Schnelllaufzahl“, die den praktisch maximalen Wirkungsgrad für „Dreiflügler“ auf 0,48 limitiert. ⁽²⁾ Mit anderen Worten, das physikalische Limit für den erreichbaren Wirkungsgrad heutiger WEA liegt bei 0,48 und nicht beim theoretischen Wirkungsgrad von 0,59. Mit einem Wirkungsgrad von 0,46 im optimierten Bereich von 5–8 m/s kommt die o.g. Siemens WEA dem theoretischen Limit sehr nahe, zumal jede WEA selbst auch einen Verbrauch durch ihre Elektrik und Mechanik hat. Das technisch realisierbare Potential hinsichtlich Steigerung des Wirkungsgrades ist bei modernen WEA bereits ausgeschöpft. Bei Nenn-Windgeschwindigkeit der SWT-3.15-142 von 11 m/s beträgt der Wirkungsgrad jedoch nur 0,25. Dies mag zunächst unverständlich erscheinen, denn die WEA hat beim höheren Dargebot an Leistungsdichte des Windes von 815 W/m² bei 11 m/s einen geringeren Wirkungsgrad, als bei „halbem Wind“ von 5,5 m/s bei einer Leistungsdichte des Windes von nur 102 W/m².

Zur Erklärung sollte man sich folgendes vergegenwärtigen. Das Rotorblatt eines Windrades funktioniert wie der Tragflügel eines Segelflugzeuges, dessen Profil den bestmöglichen „Auftrieb“ bestimmt, sprich den höchsten Wirkungsgrad bei einer ganz bestimmten Geschwindigkeit. Da die o.g. WEA eine „Schwachwindanlage“ für das Binnenland ist, wurde die Geometrie der Rotorflügel auf Geschwindigkeiten von 5-8 m/s optimiert, so dass sie bei 11 m/s einen geringeren Wirkungsgrad hat. Auch daran sieht man, wie die WEA-Hersteller ihre Anlagen technisch optimiert haben. Dies ist der Grund, warum man heute keine Offshore-Anlagen im Binnenland aufstellt, die für höhere Windgeschwindigkeiten optimiert sind. Denn im Binnenland weht häufiger eine „mäßige Brise“ mit 4 Beaufort, als eine „frische Brise“ oder „starker Wind“ mit 5-6 Beaufort. Im übertragenen Sinne wird also im Binnenland keine fette Kuh auf fetter Wiese (wie in Irland) gemolken, sondern einer mageren Kuh durch Optimierung der Melkanlage, auch noch letzte Tropfen Milch abgepresst.

Die Ingenieurtechnik hat bzgl. der Leistungsdichte ausgeschöpft, was es auszuschöpfen gab. Der einzige verbleibende Freiheitsgrad zur Optimierung ist die Rotorfläche, was eine größere Nabenhöhe voraussetzt. Ein Beispiel mag die Problematik verdeutlichen. Die Rotorfläche verdoppelt sich, wenn man statt einer WEA mit der Rotorfläche A zwei WEA jeweils mit der Rotorfläche A aufstellt. Dadurch verdoppelt sich auch die Gesamtleistung. An der Leistungsdichte der WEA pro Quadratmeter Rotorfläche ändert sich jedoch nichts, denn diese wird allein von der dargebotenen Leistungsdichte der Luftsäule des Windes bestimmt. Nun werde die Nabenhöhe der WEA erhöht, so dass eine WEA ebenfalls mit der doppelten Rotorfläche entsteht. Auch dies ändert zunächst nichts an der Leistungsdichte der WEA. Man mag einwenden, dass ein größeres Windrad aus dem stärkeren Wind in größeren Höhen schöpfen kann. Dies ist zwar für eine einzelne WEA richtig, jedoch nicht zu Ende gedacht.

Windräder bremsen den Wind

Da eine WEA dem anströmenden Wind einen Teil von dessen kinetischer Energie entzieht, und diese in elektrische Energie wandelt, wird folglich die Windgeschwindigkeit in Lee der WEA verringert. Die anströmende Luft bringt auf den Rotor mit der Fläche A eine Leistung $P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$ auf. ^(Formel-2) Die WEA entnimmt dem Wind die effektive Leistung $P_{\text{eff}} = c_p P_w$ (mit c_p - Wirkungsgrad). Die Entnahme von Wind-Leistung (P_{eff}) verringert die Strömungsgeschwindigkeit der Luft von V_1 auf V_2 entsprechend der Formel. ⁽²⁾

$$P_{\text{eff}} = P_1 - P_2 = \frac{\Delta V \rho}{2 \Delta t} (v_1^2 - v_2^2) = \frac{\rho A}{4} (v_1 + v_2) (v_1^2 - v_2^2)$$

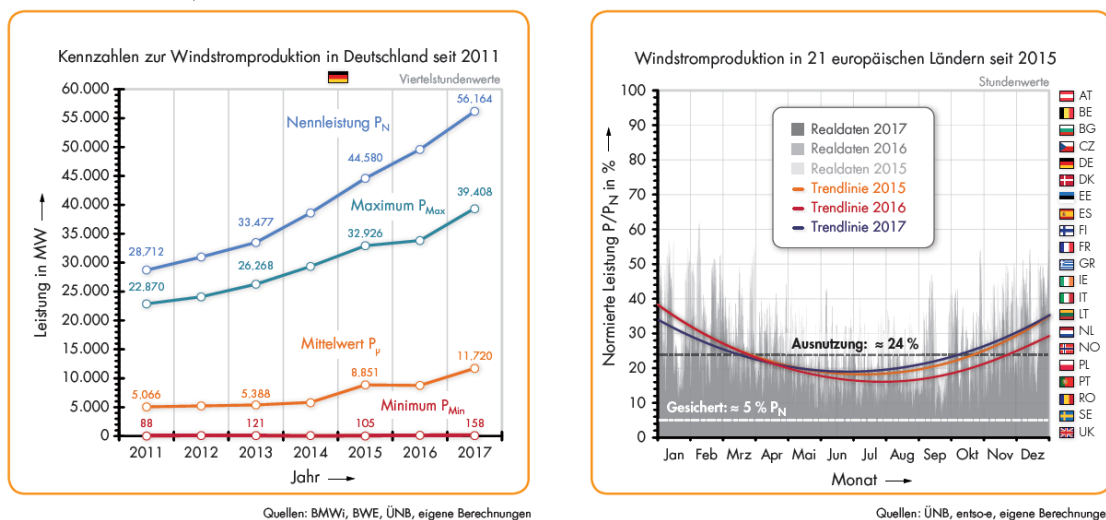
Auf eine numerische Berechnung des Geschwindigkeits-Verlustes ($\Delta V = V_1 - V_2$) bezüglich einer bestimmten WEA und bestimmter Windverhältnisse, kann verzichtet werden, da das Prinzip der Verringerung der Windgeschwindigkeit hinreichend erklärt ist. Dies bestätigt auch die Fachliteratur unter dem Titel „Turbinen schwächen die Windenergie“ und gibt für die maximal erreichbare mittlere Leistungsdichte pro Quadratmeter Landschaftsfläche einen Wert von 1,1 W/m² an. ⁽⁴⁾ Dieser Wert wird vom selben Autor in einer späteren Studie auf 0,5 W/m² Landschaftsfläche nach unten korrigiert. ⁽⁵⁾ Der Grund ist folgender:

Vom Windrad zum Windpark

Bei der Planung zum Windkraft-Ausbau wird gern vom einzelnen Windrad ausgegangen und so getan, als ob man dies für viele Windräder linear nach oben skalieren könne. Diese Annahme ist falsch. Die u.g. Grafik zeigt eine Zunahme der installierten Nennleistung von

28.712 MW (im Jahr 2011) auf 56.166 MW (im Jahr 2017). Dies ist eine Zunahme um 27.454 MW. Analog nahm die mittlere Leistung von 5.066 MW auf 11.720 MW zu, was nur einer Zunahme von 6.654 MW entspricht. Dies heißt, ein Zugewinn pro 1 MW mittlerer Leistung erforderte einem Zubau an Nennleistung von 4.125 MW. Mit anderen Worten, der Zugewinn an mittlerer Leistung erforderte das 4-fache an Neuinstallationen. Und mit dem weiteren Zubau wird dieses Verhältnis immer schlechter. Denn der Vergleich der beiden Kurven (**blau Nennleistung**) und (**orange mittlere Leistung**) zeigt, dass sich die Schere immer weiter öffnet und ein weiterer Zubau an Windkraft immer weniger bringt. Weiterhin wird offenbar, dass die **gesicherte Leistung (rote Kurve)** nahe Null ist und nie mehr als etwa 150 MW betrug, was ca. 0,3% der Nennleistung entspricht. Für ganz Europa beträgt die gesicherte Leistung nur 5% der Nennleistung. **Fazit:** Mit Windkraft ist eine sichere Stromversorgung nicht möglich!

Quelle: VGB-Power Tech, Verband der Kraftwerksbetreiber „Windenergie in Deutschland und Europa Status quo, Potenziale und Herausforderungen in der Grundversorgung mit Elektrizität Teil 1, S. 8-9“: Entwicklungen in Deutschland seit 2010, Thomas Linnemann, Guido S. Vallana



Die Grafik zeigt, dass sich Windparks bei weiterem Ausbau zunehmend gegenseitig beeinflussen. Dies wurde auch in der Literatur, die auf Messungen in Windparks in den USA beruht, beschrieben. ⁽⁴⁾ In einer weiteren Studie wurde vom selben Autor unter dem Titel „NEUE STUDIE AUS JENA: DAS POTENZIAL UND DIE GRENZEN DER WINDKRAFT“ festgestellt, dass sich bei großen Windparks die Leistungsdichte der Windkraft auf unglaublich geringe $0,5 \text{ W/m}^2$ Landschaftsfläche verringert. ⁽⁵⁾ Der Windkraft-Ausbau kannibalisiert sich selbst und hinterlässt nichts als eine Kulturlandschaft, die in ein einziges riesiges Elektrizitätswerk umgewandelt wird. Wobei die gesicherte Leistung im Bereich der Bedeutungslosigkeit liegt. Warum ist dies so?

Kannibalisierung durch Windkraft

Dem Wind wird durch eine WEA nicht nur kinetische Energie entzogen und deshalb die Windgeschwindigkeit für Windparks in Lee verringert, sondern die Luft wird auch großflächig und kilometerweit verwirbelt, s. Foto-1. ⁽⁶⁾



Je höher die Windräder sind und je größer ihre Rotorflächen, umso gravierender ist die Energieentnahme, umso nachhaltiger sind die Verwirbelungen und um so größer die Höhen in denen all dies stattfindet. Man stelle sich vor, die Verwirbelungen reichen bis zur Untergrenze tiefhängender Wolken. Dann würden sie durch Erzeugung von Turbulenzen und durch die Entnahme von Energie noch stärker zu „Wetter-Machern“, die sie bereits sind.

Wie der Tragflügel eines Flugzeuges braucht jedes Rotorblatt einer WEA eine laminare Strömung, denn deren Auftrieb bzw. Vortrieb geschieht durch die Verdichtung laminar strömender Luft an der Oberseite des Tragflügels. Was passiert, wenn ein Flugzeug in Turbulenzen gerät, ist bekannt, im schlimmsten Falle gibt es Strömungsabriss. Eine WEA kann dadurch zwar weder an Höhe verlieren noch abstürzen, doch verliert sie an Leistung. Dies senkt die „Stromernte“, so dass die Leistungsdichte bei großflächigem Windkraftausbau von ehemals prognostizierten maximal $1,1 \text{ W/m}^2$ auf nur noch ca. $0,5 \text{ W/m}^2$ (Watt pro Quadratmeter Bodenfläche) sinkt. ^(4, 5) Dies ist ein unvorstellbar kleiner Wert. Diese Halbierung der Leistungsdichte verdoppelt den Flächenbedarf in der Landschaft.

Die bittere Erkenntnis – Windräder nehmen sich gegenseitig den Wind weg

Der physikalisch bedingte Mindestabstand von WEA in Windrichtung beträgt das Achtfache des Rotordurchmessers, bei der SWT-3.15-142 mit 142 m Rotordurchmesser wären dies 1.136 m. ⁽²⁾ Wobei dies für WEA innerhalb eines Windparks gilt. Windräder größer zu bauen, mag eine technologische Herausforderung sein, physikalisch ändert sich dadurch fast nichts, da sich die Leistungsdichte der anströmenden Luftsäule pro Quadratmeter Rotorfläche nicht ändert. Mit anderen Worten, zwei kleine Windräder haben zunächst die gleiche Stromerzeugung, wie ein großes mit doppelter Rotorfläche, gleichen Wirkungsgrad und Windgeschwindigkeit vorausgesetzt. Zwar ist es richtig, dass eine größere WEA auch aus den höheren Windgeschwindigkeiten in größeren Höhen schöpfen kann, jedoch ist dies nur die halbe Wahrheit. Denn die Pläne zum Ausbau der Windkraft sehen nicht eine WEA vor, sondern viele WEA und viele Windparks. Und innerhalb eines Windparks bedingen größere Windräder auch größere Abstände. Was man an installierbarer Leistung pro Quadratkilometer Landschaftsfläche durch größere Windräder gewinnt, verliert man durch den größeren Abstand der Windräder. Die Veröffentlichung eines Max-Planck-Instituts „Turbulenzen schwächen die Windenergie“ kommt zu dem Schluss: *„Die Effekte führen dazu, dass Windturbinen in großen Windparks erheblich weniger Energie erzeugen können, als eine isoliert stehende Turbine“.* ⁽⁴⁾ Die Leistungsdichte sei deshalb in großen Windparks auf $1,1 \text{ W/m}^2$ limitiert, dies entspricht $1,1 \text{ MW/km}^2$ Landschaftsfläche. Der MDR berichtet vom gleichen Institut und gleichen Autor unter dem Titel: „Neue Studie aus Jena: Das Potenzial und die Grenzen der Windkraft“. ⁽⁵⁾ Zitat: *„Eine Kantenlänge von 100 Kilometern sollten diese (Windparks) nicht überschreiten. Windparks in diesem Ausmaß können nämlich tatsächlich nicht mehr als 0,5 Watt elektrische Energie pro Quadratmeter erzeugen. Kleinere Anlagen dagegen können eine höhere Ausbeute pro Fläche erzielen. Grund dafür: Sie klauen sich nicht*

gegenseitig den Wind, sondern sind in der Lage, die dem Wind entzogene Energie durch die aus höheren Luftschichten zu ersetzen.“ Ermittelt wurden die Daten in großen Windparks in den USA im Bundesstaat Kansas. In der Prärie sind Windparks mit riesigen Dimensionen möglich. Und selbst dort, wo der Wind ungebremst weht, ist die Leistungsdichte auf 0,5 MW/km² Landschaft bei Windparks von 100 km Kantenlänge limitiert. Der MDR schreibt dazu: *„Das Ergebnis: 0,5 Watt pro Quadratmeter. Das klingt wenig. Bezogen auf die Gesamtfläche ist es aber eine ganze Menge Energie, nämlich 250 Terrawatt. Das ist ein Mehrfaches der ungefähr 30 Terrawatt, die für Mitte des Jahrhunderts an totalem Energiebedarf – also nicht nur Strom – der Menschheit prognostiziert werden.“*

Die vom MDR verkündete Zahl von 250 TWh bezieht sich bei einer Leistungsdichte der Windkraft von 0,5 MW/km² auf die gesamte Erdoberfläche von 510 Mio. Quadratkilometer, die zu ca. 71% von Meeren bedeckt ist. Nachdem MDR-Wissen noch einen Professor befragt hat, kommt man zu dem Schluss *„Das klingt doch vielversprechend und macht Mut für die Energiewende“*. Dazu sei festgestellt:

- größere Windräder bremsen den Wind in größeren Höhen und nehmen WEA im gleichen Windpark und anderen Windparks in Lee noch mehr Wind weg.
- Größere Windräder bedeuten, dass die abgebremste Windgeschwindigkeit nur durch immer höhere Luftschichten ausgeglichen werden kann, die immer näher an die Wolkengrenze reichen. Dadurch werden immer größere Windräder immer mehr zu Wettermachern und beeinflussen damit großflächig das (Mikro)-Klima.
- Windparks (selbst in der windreichen Prärie von Kansas) sollten nicht mehr als 100 km Kantenlänge haben, ansonsten ist die Leistungsdichte auf 0,5 MW/km² limitiert.
- frühere Schätzungen des gleichen Max-Planck-Instituts gingen von 1,1 W/km² aus.

Aus den vom MDR veröffentlichten Daten sei eine grobe Abschätzung vorgenommen. Die Fläche von Deutschland beträgt 357.340 km² bei Ausdehnungen von max. 641 km x 879 km. Jedes Bundesland plant eigenständig zur Windkraft und baut oft bis an die Landesgrenze. In Deutschland sind geschlossene Windparks mit Kantenlängen von 100 km nicht möglich, jedoch erscheint es politisch nicht ausgeschlossen, jegliche Landschaft zwischen den Ortschaften mit Windparks füllen zu wollen? Dadurch würde, rein hypothetisch, ein Windpark von 357.340 km² in den Dimensionen von ca. 641 km x 879 km entstehen. Ortschaften, Seen und Verkehrswege sind in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Bei der vom MDR genannten Leistungsdichte von 0,5 W/km² wäre aus der Fläche von Deutschland eine max. mittlere Leistung von 178.670 MW zu generieren. Die aktuelle Last für Strom beträgt ca. 75.000 MW, wobei Strom ca. 20% der Primärenergie ausmacht. Der Bedarf an Primärenergie (hier mittlere Leistung) wäre also ca. 375.000 MW. Damit blieben noch ca. 196.330 MW, die in diesem flächendeckenden Wald aus Windrädern aus anderen Quellen gedeckt werden müssten. Doch hatte MDR-Wissen die gesamten Weltmeere beim propagierten „Mut für die Energiewende“ mit einbezogen. Es fällt schwer, hier den Realitätssinn zu erkennen?

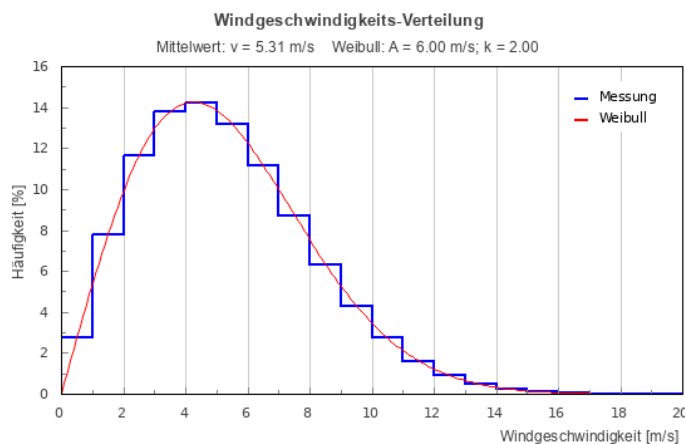
Der Trugschluss mit der Nennleistung

Oft wird aus dem Begriff der Nenn-Leistung (3,15 MW bei der Siemens SWT-3.15-142) der Trugschluss gezogen, dies sei „die reale Leistung“ einer WEA, woraus weitere unzulässige Schlüsse folgen. So wird oft propagiert, ein Windpark versorge „bis zu XYZ“ Haushalte. Dass dies allein für Windgeschwindigkeiten ab Nenn-Windgeschwindigkeit, also etwa ab Windstärke sechs gilt, wird gern verschwiegen bzw. mit dem Terminus „bis zu“ verbrämt. Denn Windstärke 6 weht selten (s. Weibull-Verteilung).⁽³⁾ Dadurch entsteht aber, nicht nur in der Bevölkerung, sondern auch bei Politikern und Planern ein unrealistisches Zerr-Bild, zumal,

wenn dies von Journalisten weithin verbreitet wird. So findet sich die Illusion, man könne bei der Windkraft-Planung mit der Nennleistung von WEA rechnen, selbst in Dokumenten von Staats-Ministerien. ⁽⁷⁾ In der Physik führt ein Karussell sich gegenseitig verstärkender Impulse zu einer Resonanz-Katastrophe. In der Politik kann dies bei Trugschlüssen nicht anders sein.

Wie weit die Nenn-Leistung von WEA von der Realität entfernt ist, ergibt sich aus der Verteilungsfunktion der Windhäufigkeit (Weibull-Verteilung) ⁽³⁾

Grafik-2: Weibull-Verteilung der Windhäufigkeit



Die Grafik zeigt eine typische Verteilung der Windhäufigkeit im Binnenland.

Nenn-Windgeschwindigkeit $> 11 \text{ m/s}$ weht nur in ca. 5-6 % der Zeit (Summe aller Balken $> 11 \text{ m/s}$). Nenn-Leistung bringt die WEA nur in dieser Zeit.

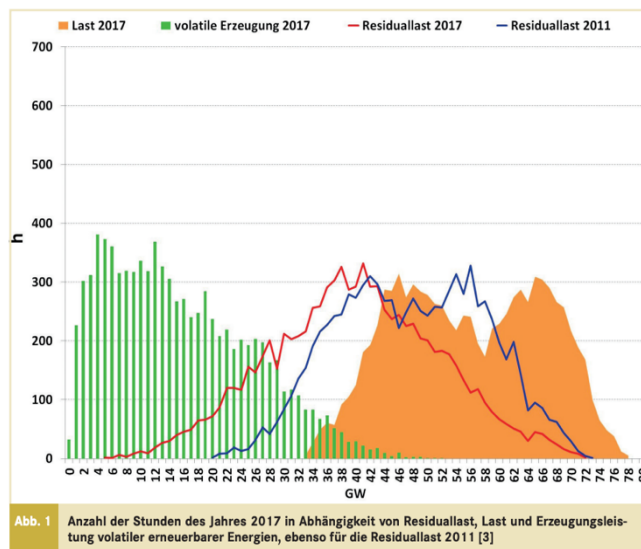
In ca. 50 % der Zeit weht der Wind mit 5 - 8 m/s für welche die WEA optimiert ist. (Summe der betr. Balken). Häufig stehen die Rotoren unterhalb der Einschaltgeschwindigkeit von 4 m/s still (Summe aller Balken $< 4 \text{ m/s}$). Stromerzeugung erfolgt nur oberhalb von 4 m/s.

Die Windhäufigkeit wird vom Windrad gem. Formel-1, dargestellt in Grafik-1 und numerisch berechnet in Tabelle-1 in elektrische Leistung umgesetzt. Grafik-3 zeigt, dass die volatile Einspeisung (**grüne Kurve**) weitab vom Leistungsbedarf (**orange Kurve**) liegt.

Eine ausführliche Beschreibung erfolgt im betr. Fachartikel. ⁽⁸⁾

Grafik-3: Windhäufigkeit (**grün**) und Last (Stromverbrauch, **orange**)

Quelle: Sigismund Kobe, Rolf Schuster: Zusammenhang zwischen Residuallast und Börsenpreis beim Zubau volatiler erneuerbarer Energiequellen ⁽⁸⁾



Die Leistung des Strombedarfs (Last) pendelt zwischen 33 GW minimaler Last und 79 GW Spitzenlast. Die volatile Einspeisung (Wind und Solar) erfolgte von 0–52 GW. Die blaue Kurve ist die Residuallast in 2011, die rote Kurve die Residuallast in 2017. Dies ist die Last (Stromerzeugung) die durch konventionelle Kraftwerke erfolgen muss, wenn die Einspeisung von Wind- und Solarstrom nicht ausreicht. Die Spreizung der Residuallast (von min. zu max. Wert) nimmt zu, was bedeutet, dass der Gradient der Regelleistung zunimmt. Die konventionellen Kraftwerke fahren damit immer mehr auf Verschleiß. Und läuft alles in Richtung Blackout.

Energie versus Leistung – ein weiterer Trugschluss

Die typische Argumentation von Windkraft-Befürwortern und der Presse führt an, welche Energie eine WEA, oder ein Windpark oder alle WEA zusammen, über einen bestimmten Zeitraum generiert haben. Dies ist im Kontext mit der Versorgungssicherheit kein relevantes Kriterium, sondern ein weiterer Trugschluss.

Die Energie (E) ist das Produkt aus Leistung (P) und Zeit (t) - es gilt: $E = P \cdot t$ (Formel-4)

Die Maßeinheit der Energie ist die Wattsekunde (Ws), daraus abgeleitete Maßeinheiten sind Kilowattstunde (kWh), Megawattstunde (MWh) usw. entsprechend den Zehnerpotenzen. Aus der o.g. Formel-4 folgt, dass die erzeugte Energie (E) gering ist, wenn die reale Leistung (P) der WEA entsprechend der Windgeschwindigkeit gering ist. Und dass die Energie (E) gleich Null ist, wenn die Leistung (P) gleich Null ist, wenn die Rotoren der WEA stillstehen.

Durch die Argumentation in Energie-Einheiten wird der Eindruck erweckt, man müsse nur eine hinreichende Anzahl WEA aufstellen, um eine sichere Stromversorgung zu realisieren. Dies ist ein völliger Trugschluss, denn dazu müsste die von einer (oder mehreren) WEA erzeugte Energie gespeichert werden, um bei Bedarf zur Verfügung zu stehen. Dies ist angesichts der schieren Dimension völlig unrealistisch. Im Jahr 2021 erzeugten 31.109 WEA in Deutschland in Summe 131,7 TWh, also 360,8 GWh pro Tag.⁽⁹⁾ Das Pumpspeicherwerk Goldisthal (das größte PSW in Deutschland) hat eine max. Leistung von 1.060 MW, das Wasser (13 Mio. Kubikmeter) reicht bei einer Fallhöhe von 302 m für 9 Stunden.⁽¹⁰⁾ Die gespeicherte Energie beträgt also 9.540 MWh bzw. 9,54 GWh (= 1060 MW * 9 h). Um die derzeit durch WEA an nur einem Tag (im Durchschnitt) erzeugte Energie zu speichern, bedürfte es etwa 38 PSW Goldisthal. In dieser Rechnung sind die Wirkungsgradverluste beim Pumpen nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt ist die Stromerzeugung durch Solaranlagen, die nachts stets Null ist. Weiterhin nicht berücksichtigt ist der Umstand, dass Dunkelflauten (ohne Wind und Sonne) mehrere Wochen dauern können. Schätzt man die Tageserzeugung von 360,8 GWh Windenergie in Bezug auf Batteriespeicher ab, so entspräche dies 3,6 Mio. E-Autos mit großem 100-kWh-Akku. Dabei ist der Speicherbedarf für Solarstrom noch nicht berücksichtigt. Aber Wind- und Solarenergie sollen noch um Größenordnungen ausgebaut werden. Zur groben Abschätzung kann man dazu die o.g. Zahlen hochrechnen.

Ausweg „grüner Wasserstoff“ – oder ein Irrweg?

Nach jahrelangen Diskussionen über alle möglichen Arten von Speichern und Forderungen in die Forschung zu investieren, ist man nun beim Hoffnungsträger „grüner Wasserstoff“ angekommen. Und wieder wird mit dem Adjektiv „grün“ ein Euphemismus betrieben, der die enormen Umweltschäden und Beeinträchtigung der Landbevölkerung ein „grünes Mäntelchen“ umhängt. Jeder, dem der Begriff „Wirkungsgrad“ kein Fremdwort ist, wird erkennen, dass die Erzeugung von Wasserstoff (H_2) durch Elektrolyse mittels Windstrom, und seine Speicherung und Rückverstromung einen Systemwirkungsgrad bedingt, der dadurch bestimmt ist, dass sich die Wirkungsgrade aller Teilschritte multiplizieren. Der Systemwirkungsgrad ist folglich stets kleiner, als der kleinste Wirkungsgrad dieser Kette, welcher durch die Rückverstromung des Wasserstoffes (H_2) bestimmt wird. Das Reziproke des Systemwirkungsgrades hebt den Preis für den so gespeicherten Strom um diesen Faktor nach oben. Bei einem Gesamtwirkungsgrad von etwa 0,2 wird die „grünen Stromspeicherung“ also den 5-fachen Preis des ursprünglich eingesetzten Windstromes bewirken. Man sollte auch wissen, dass China den weltweit ersten Hochtemperatur-Kern-Reaktor am Netz hat, der auch Wasserstoff durch Dissoziation von Wasser in der über 900 C heißen Zone direkt (ohne Umweg über Strom, mit hohem Wirkungsgrad) zu Cent-Beträgen erzeugen kann.⁽¹¹⁾ Wobei in Deutschland, mit sehr viel Fördergeld (besser Steuergeld) gerade das „grüne Perpetuum Mobile“ neu erfunden wird, dass im Chemie-Unterricht seit Jahrzehnten als Knallgas-Experiment (mit H_2 - und O_2 -Erzeugung durch Elektrolyse) bekannt ist. Doch wäre die „Wasserstofftechnologie“ ein separates Thema.

In der Elektrotechnik gelten die beiden Kirchhoff'schen Gesetze, nach denen die Summe aller (vorzeichenbehafteten) Ströme und Spannungen gleich Null ist. Oder anders ausgedrückt, gelten die Knotenregel: (In jedem Verzweigungspunkt sind hin- und abfließende Ströme gleich, es gilt $I_{\text{hin}}=I_{\text{ab}}$) Weiterhin gilt die Maschenregel: (Die Summe aller Teilspannungen ist gleich der Spannung der Quelle, es gilt $U=U_1+U_2+\dots+U_n$) darüber hinaus gilt $P = U \cdot I$ (P-Leistung, U-Spannung, I-Strom).⁽¹⁹⁾ Daraus folgt, dass die generierte Leistung zu jedem Zeitpunkt der entnommenen Leistung (Last) entsprechen muss, ansonsten bricht die Stromversorgung zusammen. Bei einer Wechselspannung gleicht die Änderung der Netzfrequenz (50 +/- 0,2 Hz) Ungleichgewichte zwischen Stromerzeugung und Verbrauch (Last) in geringem Maße aus. Die Netz-Frequenz ist jedoch angesichts einer asynchronen Einspeisung der Sinusspannung aus verschiedenen Quellen (Kraftwerke, Übertragungsleitungen) ein äußerst sensibler Parameter. Deshalb muss zur Vermeidung von Spannungsspitzen zu jedem Zeitpunkt positive und negative Regelleistung zur Verfügung stehen, damit sich Einspeisung und Verbrauch die Waage halten. Daher ist nicht die Energie, die irgendwann generiert wurde, sondern allein die Leistung relevant, die in jedem Moment der Last (Stromverbrauch) entsprechen muss. Ist dies nicht der Fall, und kann keine Regelleistung bereitgestellt werden, hilft nur noch Lastabwurf, sprich die Abschaltung von Stromverbrauchern. Dies ist längst Realität durch zeitweise Abschaltung von Aluminium-Hütten und anderen Großverbrauchern⁽¹²⁾. Auf unseren Stromrechnungen findet sich dafür der Posten „Umlage für abschaltbare Lasten“. Das vermeintliche „Windkraft-Paradies“ Kalifornien ist für seine rollierenden Blackouts bekannt, wobei einzelne Regionen zeitweise vom Netz genommen werden, um einen unerwarteten Blackout zu vermeiden.⁽¹³⁾ Unsere Stromerzeugung läuft auf eine Blackout-Gefahr hinaus und auf eine Strom-Mangelwirtschaft zu Höchstpreisen.

Eine Landschaft voller Windräder – „End of Landschaft“

Man müsste bei einer Leistungsdichte der Windkraft von 0,5 MW/km² ganze 75.000 km² Landschaft mit Windrädern zustellen, nur um die Hälfte (37.500 MW) des mittleren Leistungsbedarfes (Last) von Deutschland von ca. 75.000 MW zu generieren.⁽⁵⁾ Dazu müsste man ganz Bayern (Fläche 70.500 km²) in einen einzigen Windpark verwandeln, inkl. Städten, Seen und Alpen. Doch bliebe dann immer noch das ungelöste Problem der Stromspeicherung. Auch kann man das Strom-Netz nicht als Speicher benutzen, auch wenn dies für eine bekannte Politikerin eine sehr attraktive Wunschvorstellung sein mag. Welche jedoch treffend das technische Niveau offenbart, auf dem sich manche politische Entscheidungsträger bewegen.

Für Thüringen mit einer Fläche von ca. 16.000 km² ließe sich zur Größenordnung folgende Rechnung aufmachen. Thüringen hat eine Netzlast von etwa 1.660 MW für den Strombedarf. Dies ist etwas weniger als die Leistung des Kohle-Kraftwerkes Lippendorf (1.840 MW) südlich von Leipzig. Angenommen, es solle etwa die Hälfte der Netzlast, sagen wir 800 MW, durch Windkraft aufgebracht werden, so würde dies bei einer Leistungsdichte von 0,5 MW/Km² einen Flächenbedarf von 1.600 km² bedeuten.⁽⁵⁾ Dies wären 10% der Landesfläche, allein für die Hälfte des Strombedarfs von Thüringen. Damit wird das propagierte Ausbauziel von 1% der Landesfläche konterkariert. Wie dieser Wert zustande kommt, ist dem Autor unbekannt. Wobei Strom nur etwa 20% der Primärenergie (Strom, Verkehr, Heizwärme, Industriewärme) ausmacht. Bei einer 100%-Energiewende mit 50% Windkraftanteil wären folglich 50% der Landesfläche, also 8.000 km² von Thüringen notwendig. Die Abschätzung der Größenordnungen für Deutschland mit einer Gesamtfläche von 357.582 km² von Deutschland lässt sich anhand der o.g. Beispiele leicht vornehmen.

Bei all diesen Betrachtungen bleibt das Problem der Stromspeicher ungelöst. Und die Angabe der max. Leistungsdichte von $0,5 \text{ W/m}^2$ stammt nicht vom Autor, sondern von anderen Autoren eines Max-Planck-Instituts in Jena, die diesen Wert durch Studien an Windparks in den USA empirisch ermittelt haben. ⁽⁵⁾

Die antagonistischen Widersprüche der Windkraft:

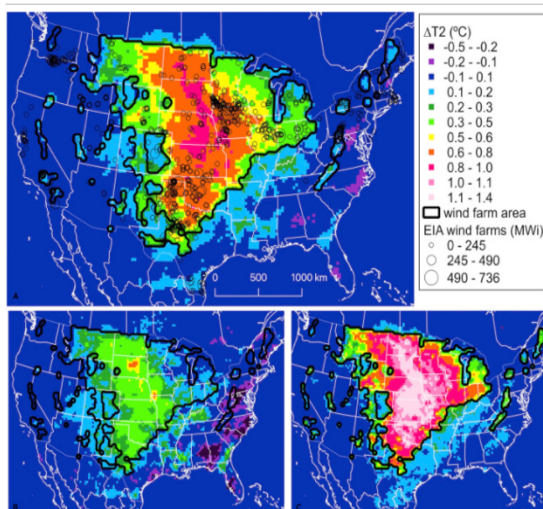
- Die sehr geringe Leistungsdichte bedingt einen extrem hohen Landschaftsverbrauch.
- Die gesicherte Leistung ist nahe Null, so dass Windkraft ohne Speicher oder Backup-Kraftwerke keinerlei Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten kann.
- Volatile Stromeinspeisung funktioniert nicht ohne Backup-Kraftwerke oder Speicher.
- Speicher sind in der erforderlichen Größenordnung weder vorhanden noch realisierbar.
- Batteriespeicher können bestenfalls kurzfristige Regelleistung bereitstellen.
- „Grüner Wasserstoff“ aus Windkraft ist wegen der Wirkungsgrad-Verluste in der System-Kette eine Illusion. Diese Technologie ist zu Höchstpreisen nicht wettbewerbsfähig, sondern nur durch Subvention und Dirigismus am Leben zu erhalten. Ein Blick nach China zum Hochtemperatur-Kern-Reaktor, mag manche Illusion verfliegen lassen. ⁽¹¹⁾
- Russland hat mit dem BN-800 einen Kern-Reaktor, der mit „Atommüll“ betrieben werden kann. Eine Endlagersuche in Deutschland fehlt damit die technische Begründung. ⁽¹⁴⁾
- Der Ausbau von Windkraft führt zu einer immer geringen Steigerung der mittleren Leistung und damit zu einer Kanibalisierung der Windkraft.
- Windkraft bedingt eine exorbitante Zerstörung der Natur und die großräumige Umwandlung der Landschaft in ein einziges Elektrizitätswerk.

Beeinflussung des Mikro-Klimas durch Windräder

Windräder beeinflussen das Mikroklima auf verschiedene Art und Weise. Der Entzug von kinetischer Energie aus der strömenden Luft durch Windräder bewirkt eine Störung der natürlichen Schichtung der Luftströmungen. Zunächst sei die Ausgangssituation betrachtet. Sowohl die Windgeschwindigkeit, als auch die Temperatur weisen eine natürliche Schichtung in der Höhe auf. Die Windgeschwindigkeit nimmt mit der Höhe zu, dies ist der vertikale Gradient der Windgeschwindigkeit. Dabei treiben schnellere Luftschichten in größeren Höhen langsamere Luftschichten in geringeren Höhen durch Reibung an. Die Erhöhung der Bodentemperatur verursacht durch Windparks in den USA zeigt Grafik-4. ⁽¹⁵⁾

Grafik-4: Quelle: Climatic Impacts of Wind Power (15) - Temperatur-Erhöhung verursacht durch Windparks.

Oben: Gesamteffekt, Temperaturen lt. Farbskala, Windparks lt. Symbolen (Kreise), Bild links unten: tagsüber, Bild rechts unten: nachts,



Bei der Entnahme kinetischer Energie des Windes in Bodennähe bis in einige Hundert Meter Höhe durch Windräder werden die unteren Luftschichten abgebremst und der natürliche vertikale Gradient der Windgeschwindigkeit gestört. Dadurch wird die Reibung laminar strömender Luftschichten untereinander gestört und Turbulenzen erzeugt. Dies führt zur vertikalen Durchmischung horizontaler Luftschichten verschiedener Geschwindigkeiten. Dadurch gibt es massive Verwirbelungen, Foto-1. ⁽⁶⁾ Dies führt zu einer Vermischung von warmer und kühler Luft sowie von Luftfeuchte. Die natürlichen Schichtungen von Windgeschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchte werden durch Windräder gestört.

Je größer die Windräder sind, um so raumgreifender ist die Störung bis in hunderte Meter Höhe. Tagsüber und bei Sonnenschein gibt es eine natürliche Durchmischung der Luftschichten durch aufsteigende erwärmte Luft (Thermik), doch nachts herrschen andere Verhältnisse. Dann gibt es, infolge Kühlung der Luft durch Infrarot-Abstrahlung in den Weltraum, eine stabile Schichtung von kühler Luft in ca. 100 – 300 m Höhe. Windräder, insbesondere mit Gesamthöhen von 250 m verwirbeln diese stabilen kühlen Luftschichten bis in Höhen weit über 500 m und bringen damit wärmere Luft in Bodennähe. Die beeinflusst die Temperatur am Boden direkt und über die dann fehlende Verdunstungskühlung von Wasser. Denn die Verdunstung von Wasser am Boden und in Bodennähe führt zu einer natürlichen Kühlung, welche auf der Phasen-Umwandlungswärme von Wasser beim Übergang von flüssig zu gasförmig beruht. Die Folge ist eine empirisch nachgewiesene Erwärmung und Austrocknung der Landschaft durch Windparks.

Die Diskussionen von Politik und Medien konzentrieren sich dann gewöhnlich auf das Thema „Borkenkäfer“. Woraus die typische Forderung entsteht, „wir brauchen noch mehr Windräder“ zum „Klimaschutz“. Wobei die unmittelbare Beeinflussung des Mikroklimas durch Windparks aus der Diskussion ausgeblendet wird. Stattdessen beabsichtigt man, das Weltklima durch Windräder zu „retten“. Aber auch dies wäre ein separates Thema.

Was würden 20 Hiroshima-Bomben täglich über Deutschland bewirken?

Es mag schwer vorstellbar sein, dass Windräder weiträumig das Klima verändern können. Deshalb sei hier ein Vergleich zur Entnahme von Energie aus der strömenden Luft gezogen. In der Geologie werden große Ereignisse, wie Erbeben, zur Veranschaulichung mit der Explosions-Energie der Hiroshima-Bombe verglichen. Diese ist mit „60000000000000 joules“ angegeben, oder in Zehnerpotenzen $6 \cdot 10^{13}$ Joule bzw. Ws. ⁽¹⁶⁾ Die durch Windkraft im Jahr 2021 in Deutschland generierte Energie betrug 131,7 TWh. ⁽⁹⁾ Umgerechnet sind dies $4,7 \cdot 10^{17}$ Ws. Damit entspricht die durch Windkraft der Atmosphäre entzogene Energie etwa 7.000 Hiroshima-Bomben. Die Beeinflussung der Atmosphäre wäre damit vergleichbar mit der Explosion von täglich 20 Hiroshima-Bomben über Deutschland, nicht als Eintrag, sondern als Entzug von Energie. Abgesehen von all den bekannten Umwelteinflüssen, lässt diese gewaltige Beeinflussung den Euphemismus von der „sauberen Energie für gutes Klima“ in einem etwas anderen Licht erscheinen. Um die Beeinflussung des Klimas zu quantifizieren, vor allem hinsichtlich Regen durch Verminderung des Luftdruckes, wären weitere Berechnungen zu diesem Thema erforderlich.

Zusammenfassung

- Die Nennleistung (lt. Typenschild) einer WEA wird nur bei Nenn-Windgeschwindigkeit (typisch ab Windstärke 6) erreicht. Darunter sinkt die reale Leistung drastisch, da die dargebotene Windleistung mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit abnimmt. ^(1,2)
- Bezüglich der Nennleistung besteht der weit verbreitete Irrglaube, dies sei „die Leistung“ welche eine WEA stets liefert. Selbst Berechnungen staatlicher Stellen rechnen in „Nennleistung“, was die daraus resultierenden Schlussfolgerungen irrelevant macht. ⁽⁷⁾
- Oberhalb der Nenn-Windgeschwindigkeit ist eine Leistungs-Steigerung aus Gründen der Anlagen-Sicherheit nicht möglich. ^(1,2)
- Die Nenn-Windgeschwindigkeit beträgt bei Schwachwind-Anlagen für das Binnenland ca. 10 – 11 m/s und bei Offshore-Anlagen ca. 12 m/s. ⁽¹⁾

- Die Nenn-Windgeschwindigkeit ist ein vom Hersteller für den Einsatzzweck vorgegebener Parameter, dessen Optimierungs-Potential innerhalb der Baureihen ausgeschöpft ist. ^(1,2)
- Der maximal von einer WEA erreichbare Wirkungsgrad ist nicht der „physikalisch-theoretische Wirkungsgrad“ von 0,59 sondern der für „Dreiflügler“ geltende maximale Wirkungsgrad von 0,48. Heutige WEA, haben dieses Potential technisch ausgeschöpft. ⁽²⁾
- Berechnungen zum Ausbau der Windkraft, welche in Energie-Einheiten (kWh, MWh) erfolgen sind unphysikalisch, da bei volatilen Stromerzeugern allein in Leistungseinheiten (W, MW) gerechnet werden kann.
- Windräder verringern selbst noch in größeren Höhen die Windgeschwindigkeit und führen großräumiger zu turbulenten Strömungen, so dass sich Windparks zunehmend gegenseitig ausbremsen. Die max. Leistungsdichte für große Windparks ist auf 0,5 W/m² in Bezug auf den Landschaftsverbrauch limitiert. ⁽⁵⁾
- Im Lee von Windparks wird das Mikroklima beeinflusst, die Landschaft wird erwärmt und ausgetrocknet. ⁽¹⁵⁾
- Die Entnahme von Windenergie in der Größenordnung von 20 Hiroshima-Bomben täglich aus der Atmosphäre über Deutschland ist ein Thema, dem sich nach Wissen des Autors, noch kein Institut gewidmet hat. Wäre die damit verbundene Wetter-Beeinflussung denn nicht ein herausragendes Forschungs-Thema? ⁽¹⁶⁾

Gesellschaftlich relevantes Fazit:

Der Ausbau der Windkraft erfordert immer größere Windparks, die sich deshalb immer mehr gegenseitig den Wind wegnehmen und somit den weiteren Ausbau immer ineffizienter machen. Doch solange Institute und die Wirtschaft nur dann mit sattem Steuergeld gefördert werden, wenn sie Studien pro-Windkraft liefern, wird sich daran nichts ändern. Erst wenn auch Institute Fördergelder erhalten, welche die Limits der Windkraft und die physikalische Unmöglichkeit einer „Energiewende“ belegen, wird diese pro-Windkraft-Steuergeld-Spirale ihr Ende finden. Oder wer kennt ein zur Windkraft „alternativ“ forschendes Institut im Deutschland der propagierten „Alternativlosigkeit“? Und wer eigentlich, macht uns die „Energiewende“ nach? Etwa China, dass ständig neue Kohle-Kraftwerke in Betrieb nimmt? Übrigens auch vom aller modernsten Typ der „Ultra Clean Coal UCC-Technology“, welche die Turbine mit superkritischem CO₂ anstelle von Dampf antreiben können, der noch ein MHD- Generator vorgeschaltet werden kann. ⁽¹⁷⁾

Das Max-Planck-Instituts in Jena, das die extrem geringe Leistungsdichte von 0,5 W/m² Landschaftsfläche (mittlere Leistung) in einer Studie für große Windparks (und flächen-deckenden Ausbau?) belegt hat, mag dabei zu einer Art „Betriebsunfall“ der Energiewende beigetragen? Denn wenn strikte Befürworter der Windkraft, Messungen in Windparks durchführen, muss auch mit Überraschungen gerechnet werden. Dies hört sich in der Presse so an: „Jenaer Max-Planck-Forscher stoßen in Studien zu Windenergie auf Probleme“. ⁽¹⁸⁾ Probleme mit der Windkraft - wer hätte das gedacht? Die Brisanz der geringen Leistungsdichte von 0,5 W/m² in Bezug auf den Landschaftsverbrauch durch Windkraft und die Beeinflussung des Klimas sind aber von der Presse möglicherweise noch nicht vollständig erkannt worden? ^(5, 15) Und so ist dies wohl noch nicht zur Thüringer Landesregierung und in das grüne Energie-Ministerium vorgedrungen? Denn dieses rechnet immer noch mit einer Leistungsdichte von 30 MW/km² und mit der Nenn-Leistung von Windrädern und extrapoliert von einem Windrad sodann auf fast tausend Windräder. ⁽⁷⁾

„Die Definition von Wahnsinn ist, immer wieder das Gleiche zu tun und andere Ergebnisse zu erwarten.“ (Albert Einstein)

Quellen:

- (1) Technische Daten Siemens SWT-3.15-142
<https://www.wind-turbine-models.com/turbines/1469-siemens-swt-3.15-142>
- (2) Physik der Windturbine
<https://home.uni-leipzig.de/energy/energie-grundlagen/15.html>
- (3) Beschreibung des Windes: Die Weibull-Verteilung
<https://wind-data.ch/tools/weibull.php>
- (4) Turbinen schwächen die Windenergie
<https://www.mpg.de/9379767/windenergie-wind-strom>
- (5) NEUE STUDIE AUS JENA: DAS POTENZIAL UND DIE GRENZEN DER WINDKRAFT
<https://www.mdr.de/wissen/energie/potenzial-und-grenzen-der-windkraft-100.html>
- (6) Einfluss von Windrädern auf das Klima (s. Foto)
<https://ruhrkultour.de/beeinflussen-windraeder-das-klima/>
- (7) Aktueller Stand von Windkraftanlagen, Repowering und Windvorranggebieten in Thüringen
https://parldok.thueringer-landtag.de/ParlDok/dokument/84610/aktueller_stand_von_windkraftanlagen_repowering_und_windvorranggebieten_in_thueringen.pdf
zu: parlamentarische Anfrage: AKTUELLER STAND VON WINDKRAFTANLAGEN, REPOWERING UND WINDVORRANGGEBIETEN IN THÜRINGEN
<https://parldok.thueringer-landtag.de/ParlDok/vorgang/44627>
- (8) Zusammenhang zwischen Residuallast und Börsenpreis beim Zubau volatiler erneuerbarer Energiequellen
https://tu-dresden.de/mn/physik/itp/das-institut/beschaeftigte/kobe/ressourcen/dateien/et_1878_60_Kobe_Schuster_BCDRneu_76-77.pdf?lang=de
- (9) WINDENERGIE IN DEUTSCHLAND
<https://strom-report.de/windenergie/>
- (10) Fakten zum Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal
<https://powerplants.vattenfall.com/de/goldisthal/>
- (11) China Starts Up First Fourth-Generation
<https://www.powermag.com/china-starts-up-first-fourth-generation-nuclear-reactor/>
- (12) Der Tag an dem der Strom knapp wurde
<https://zeitung.faz.net/faz/wirtschaft/2019-01-12/0ef138ca4a91f74600c9c37e8a8d9a2d/?GEP=s9>
- (13) California Faces Rolling Blackouts As Heat Wave Begins
<https://www.dailywire.com/news/california-faces-rolling-blackouts-as-heat-wave-begins>
- (14) Strom aus Atommüll: Schneller Reaktor BN-800 im kommerziellen Leistungsbetrieb
<https://nuklearia.de/2016/12/09/strom-aus-atommuell-schneller-reaktor-bn-800-im-kommerziellen-leistungsbetrieb/>
- (15) Climatic Impacts of Wind Power
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S254243511830446X>
- (16) 1 Hiroshima Bomb Explosion (hbe) to all energy units
<https://www.justintools.com/unit-conversion/energy.php?k1=hiroshima-bomb-explosion>
- (17) General Electric
<https://www.ge.com/power/steam/steam-power-plants/advanced-ultra-supercritical-usc-ausc>
- (18) Jenaer Max-Planck-Forscher stoßen in Studien zu Windenergie auf Probleme
<https://www.thueringer-allgemeine.de/leben/wissenschaft/jenaer-max-planck-forscher-stossen-in-studien-zu-windenergie-auf-probleme-id225152263.html>
- (19) KIRCHHOFFsche Gesetze
<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/komplexere-schaltkreise/grundwissen/kirchhoffsche-gesetze>