

# Wie viele Windräder braucht das Land?

Dr. - Ing. Detlef Ahlborn

3. Juli 2013

*Mit einfachen Überlegungen und einem simplen Dreisatz läßt sich nachrechnen, dass unser Land mit Zehntausenden von Windrädern zugebaut werden müßte, wenn nur ein Viertel des deutschen Stromverbrauchs aus Windkraft gewonnen werden soll. Deutschland wäre von Flensburg bis Berchtesgaden und von Aachen bis Görlitz überzogen mit Tausenden von Windparks mit einem mittleren Abstand von 7km.*

In der öffentlichen Diskussion um sogenannte erneuerbare Energien ist sich die Mehrheit der Bürger und eine große Zahl an Befürwortern von Wind- und Solarenergie nicht darüber im Klaren, welchen Umfang der Ausbau etwa der Windkraft haben muss, wenn nur ein Teil der elektrischen Leistung unserer Netze durch Windkraftanlagen erbracht werden soll. Die dazu erforderlichen Überlegungen sind keineswegs kompliziert und es braucht nur einige Grundkenntnisse in Physik, um diesen Umfang abzuschätzen.

Hier soll die Frage beantwortet werden, wie viele Windkraftanlagen in Deutschland aufgebaut werden müssen, um einen Teil der elektrischen Leistung des Netzes sicher zur Verfügung zu stellen. Eine sichere Bereitstellung soll hier so verstanden werden, dass die elektrische Leistung bei Windflauten aus Gaskraftwerken zur Verfügung gestellt werden. Nach den Vorstellungen einiger Kasseler Professoren soll es irgendwann möglich sein, das Methangas zur Befeuerung der Gaskraftwerke auf elektrischem Wege aus Windstrom zu erzeugen. Dieser Prozess ist bei Wikipedia beschrieben [2],[3]. Leistungen aus Solarkraftwerken können in dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben, weil die gesicherte Grundlast aus dieser Energieform im Winter praktisch auf Null sinkt.

In einer unverdächtigen Studie des Freiburger Fraunhofer- Instituts für Solare Energiesysteme zur hundertprozentigen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien [1] werden neben anderen Kraftwerkstypen Windkraftanlagen (WKA) mit einer Nennleistung von  $170.000MW$  auf dem Festland beschrieben. Realisiert man diese Nennleistung durch Anlagen mit  $3MW$ , so müssen dazu rund  $57.000$  WKA'n gebaut werden. Bei einem Flächenverbrauch von  $5ha$  pro Anlage wird dafür eine Fläche von  $2900km^2$  verbraucht, wenn man diese Anlagen dicht an dicht bauen würde. Deutschland hat eine Gesamtfläche von  $360.000km^2$ - der Flächenverbrauch der WKA selbst spielt also zunächst keine große Rolle. Wenn man die erforderliche Zahl von WKA ausrechnen will, kann man den Flächenverbrauch der Anlagen selbst zunächst vernachlässigen.

Wir betrachten nun eine einzelne WKA mit einer elektrischen Nennleistung, die mit dem Formelzeichen  $P_A$  bezeichnet werden soll. Typische geplante Lei-

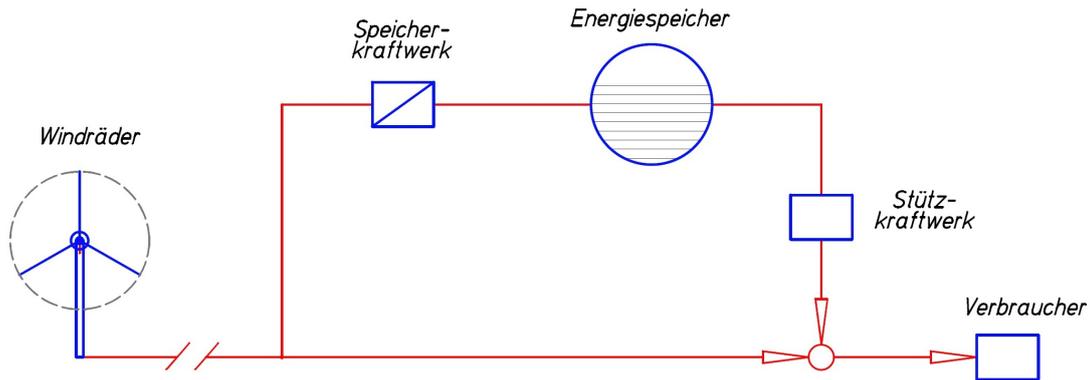


Abbildung 1: Stützung eines Stromnetzes mit Windkraftanlagen durch Speicherkraftwerke

stungen liegen bei  $P_A = 3MW = 3000kW$ . Da eine WKA praktisch nie bei Nennleistung betrieben werden kann, weil der Wind selten mit der entsprechenden Intensität weht, liegt die *durchschnittliche* (tatsächliche) Leistung immer ganz wesentlich darunter. Diese Tatsache wird durch die sogenannte Volllaststundenzahl (Formelzeichen  $T_V$ ) erfasst. Typische Werte liegen auf dem Festland zwischen  $1800h$  [1], andere Autoren stellen zwar größere Werte von bis zu  $2500h$  in Aussicht- die durchschnittliche Volllaststundenzahl lag für alle *existierenden* WKA in Deutschland im Jahr 2012 allerdings nur bei  $1500h$ . Das Jahr hat  $8760h$ . Die durchschnittliche Leistung einer WKA (Formelzeichen  $P_{WKA}$ ) liegt demnach bei

$$P_{WKA} = \frac{T_V}{8760} P_A \quad (1)$$

Mit den angegebenen Werten für die Volllaststundenzahl liegt die durchschnittliche Leistung einer WKA demzufolge zwischen 16 und 20% der Nennleistung. Eine WKA mit einer Nennleistung von  $3MW = 3000kW$  hat also eine durchschnittliche Leistung zwischen  $500$  und  $600kW$ . Die Spitzenleistung im deutschen Stromnetz tritt an Wintertagen auf und beträgt  $80.000MW$ , womit klar ist, dass es einer beträchtlichen Zahl von Windrädern bedarf, um ein solches Netz mit Strom zu versorgen. Es soll nun diese beträchtliche Zahl an WKA ausgerechnet werden, mit der ein elektrisches Netz *sicher* betrieben werden kann. Hierbei sollen die Windräder mit einem Methanisierungs- Speicher- Gaskraftwerk kombiniert werden: Wenn die Windintensität nicht ausreicht, wird das Netz durch Gaskraftwerke gestützt, wenn die Windleistung größer ist als der Strombedarf vom Netz, wird die überschüssige Energie in Form von Methangas gespeichert. Die Anzahl der WKA soll mit  $N$  bezeichnet werden- wir kennen diese Zahl noch nicht, wir wollen diese Zahl aber hier berechnen und wollen dabei auch die Verluste bei der Speicherung und die Volllaststundenzahl berücksichtigen.

Wenn der Wind ausreichend weht, können die WKA das elektrische Netz direkt mit Strom versorgen, überschüssige Windleistung wird in chemische Energie in Form von Methan gewandelt und ins Erdgasnetz gespeichert. Bei der Wandlung

der überschüssigen elektrischer Energie in Methan und zurück in elektrische Energie gehen rund 70% der Energie verloren. Vor diesem Hintergrund ist es schon begrifflich fragwürdig, überhaupt von *Speicherung* zu sprechen. Dieser miserable Wert ist keineswegs eine Folge mangelnder Ingenieurskunst, sondern eine Folge aus einem fundamentalen Naturgesetz, das Physikern und Ingenieuren als Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik geläufig ist. Eine genauere Rechnung zeigt, dass im gesamten Prozess zwischen WKA und Verbraucher etwa die Hälfte der ursprünglichen Windenergie verloren geht. Das erklärt sich dadurch, dass ein Teil der gewandelten Windenergie mit geringen Verlusten ins Netz gespeist wird- die gesamte Energieausnutzung liegt daher mit einem Wirkungsgrad (Formelzeichen  $w$ ) von 50% über dem 30%- Wirkungsgrad des Power to Gas to Power Prozesses. Wenn nun  $N$  WKA mit einer durchschnittlichen Leistung zwischen 16 und 20% der Nennleistung und einem Wirkungsgrad von  $w = 50\%$  zusammenschaltet werden, dann haben diese Anlagen eine durchschnittliche Gesamtleistung (Formelzeichen  $P_G$ ) von

$$P_G = Nw \frac{T_V}{8760} P_A. \quad (2)$$

Um diesen Zusammenhang mit etwas Sinn zu erfüllen, sollen nun konkrete Zahlen eingesetzt werden: Es sollen 1000 Windräder mit einer Nennleistung von  $3MW$  betrachtet werden. Die Volllaststundenzahl soll  $T_V = 1800$  betragen. Dann hat  $N$  den Wert 1000 und die Nennleistung einer Anlage den Wert  $3MW$ . Man kann also  $P_A = 3MW$  in die Formel einsetzen:

$$\begin{aligned} P_G &= 1000 \times \frac{50}{100} \times \frac{1800}{8760} \times 3MW \\ &= 310MW \end{aligned} \quad (3)$$

Im Verbund mit einem Power-To-Gas Speichersystem haben 1000 Windräder mit einer Nennleistung von  $3000MW$  eine durchschnittliche Leistung, die bei rund einem Zehntel der Nennleistung liegt. Die durchschnittliche Leistung eines einzelnen Windrads mit  $3MW = 3000kW$  liegt dann bei  $300kW$ . Die exzessive Verschleuderung von Ressourcen und den immensen Flächenverbrauch kann man ermessen, wenn man sich klarmacht, dass drei moderne Turbodieselmotoren mit einem Hubraum von 2 Litern eine größere Leistung haben. Diese Motoren würden samt Generator in jedes deutsche Wohnzimmer passen.

Um sich nun zu überlegen, wie viele Windräder es braucht, um ein Viertel der größten Netzleistung von  $80.000MW$  durch Windkraft zu ersetzen, kommt man mit dem elementaren Dreisatz unmittelbar zum Ziel: Wenn 1000 Windräder eine Durchschnittsleistung von  $300MW$  haben, dann haben  $X$  Windräder eine durchschnittliche Leistung von  $20.000MW$ . Nach einschlägigen Rechenregeln aus der siebten Klasse (!) ergibt sich als erforderliche Zahl von Windrädern:

$$X = \frac{20.000MW}{300MW} \times 1000 = 66.667 \quad (4)$$

Diese doch recht beträchtliche Zahl sagt zunächst nicht viel aus- sie gewinnt etwas an Anschaulichkeit, wenn man sich vergegenwärtigt, dass Anfang 2013 rund 23.000 Windräder in Deutschland installiert waren. In jeder Studie wird empfohlen, Windräder in Windparks zusammenzufassen. Dieser Empfehlung wollen wir hier nachkommen und 66.667 Windräder in Windparks zu je 10 Anlagen zusammenfassen. Diese 6666 Windparks sollen in Gedanken gleichmäßig über ganz Deutschland

verteilt werden. Durch diese Anordnung wollen wir der Hoffnung Rechnung tragen, dass eine gleichmäßige Verteilung der Anlagen die Stromeinspeisung glättet. Diese immer wieder formulierte Hoffnung ist zwar unzutreffend und durch keine seriöse Untersuchung bestätigt, der Empfehlung wollen wir dennoch folgen.

Deutschland hat eine Gesamtfläche von  $360.000\text{km}^2$ . Diese Fläche teilen wir nun in ein Schachbrettmuster aus gleichen Quadraten auf und wir stellen uns vor, dass wir in der Mitte eines jeden Quadrats einen Windpark mit je 10 Windrädern bauen. Jedes dieser kleinen Quadrate hat dann eine Fläche von

$$A = \frac{360.000\text{km}^2}{6666} = 54\text{km}^2 \quad (5)$$

Zunächst erscheint diese Fläche recht groß; dieser Eindruck täuscht jedoch: Ein Quadrat mit einer Fläche von  $54\text{km}^2$  hat eine Kantenlänge von  $7,3\text{km}$ . Wir kommen also zu dem überraschenden Schluss, dass wir die gesamte Fläche von Deutschland und von Flensburg bis nach Berchtesgaden, von Aachen bis nach Görlitz im Abstand von durchschnittlich  $7,3\text{km}$  Abstand mit Windparks zubauen müssen, um ein **Viertel der Stromversorgung Deutschlands** mit Windrädern sicherzustellen. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle angemerkt, dass sich an dieser Tatsache nichts Wesentliches ändert, wenn man größere Volllaststundenzahlen in Ansatz bringt: Bei einer Volllaststundenzahl von  $2500\text{h}$  werden  $40.000$  Windräder benötigt und der Abstand von Windpark zu Windpark erhöht sich von  $7,3\text{km}$  auf  $9,5\text{km}$ . Diese Zahlen sind keineswegs aus der Luft gegriffen: In der bereits erwähnten Studie des Fraunhofer-Instituts ISE in Freiburg [1] wird beispielsweise eine mittlere Volllaststundenzahl von  $1800\text{h}$  und eine Nennleistung der Windkraftanlagen von  $170.000\text{MW}$  (das entspricht  $57.000$  Windkraftanlagen mit je  $3\text{MW}$ ) angenommen.

Eine solche flächendeckende Windkraft-Industrialisierung ist für unser Land ein ökologisches Horrorszzenario. Mensch und Tier könnten in Deutschland nicht mehr artgerecht leben.

## Literatur

- [1] Hennig, H.-M., Palzer, A.: *100 % erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland*  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE Stuttgart, Kassel, Teltow, 2012
- [2] N.N.: *Wikipedia: EE-Gas*  
<http://de.wikipedia.org/wiki/EE-Gas>
- [3] Sterner, S.; Jentzsch, M.; Holzhammer, U.: *Erneuerbares Gas für eine nachhaltige Entwicklung*  
GWA, 91. Jg., Okt 2011, pp 725-733