

Statistik und Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie in Deutschland

geschrieben von Wolfgang Müller | 10. Februar 2014

Windkraft

Wetter ist ein zufälliges Phänomen – vor einem Ausflug ins Grüne kann die Wettervorhersage schon mal eine spannende Sendung sein. Wir sind diesem Zufall auch ausgeliefert – nicht umsonst können Ausflüge buchstäblich ins Wasser fallen. Und obwohl Wind und Wetter zufällig sind, hat jeder ein vernünftiges Gefühl dafür: Im Sommer kommen sonnige Tage öfter vor als etwa im Spätherbst. Mit windigem Wetter verhält es sich eher umgekehrt. Wie würden wir uns ein Bild davon machen, ob es an einem bestimmten Ort eher windiger oder weniger windig ist? Wir würden die Windintensität als Windgeschwindigkeit messen und dann die Tage oder Stunden auszählen, an denen die Windgeschwindigkeit z. B. zwischen 2 und 2,5m/s liegt. Das ganze würden wir in einem Diagramm auftragen – dieses Häufigkeitsdiagramm, auch Histogramm genannt, charakterisiert die Windigkeit an einem Ort. In diesem Diagramm kann man ablesen, wie sich die Windgeschwindigkeit im Verlaufe eines Zeitraums auf niedrige und hohe Windgeschwindigkeiten verteilt. Für diese Verteilung hat sich in der Szene der Begriff Windhöufigkeit eingebürgert.

Diese Wind-Häufigkeitsdiagramme haben überwiegend eine ähnliche Struktur, gleichgültig wo man sie gemessen hat: Lediglich die durchschnittliche Geschwindigkeit und die Höhe der Histogramm – Linien verschiebt sich etwas. Bei großen Windgeschwindigkeiten verschieben sich die Linien zu höheren, bei kleinen Windgeschwindigkeiten zu niedrigeren Werten hin. Es ist allgemein anerkannt, dass der Wind nach einem ganz bestimmten Häufigkeitsschema verteilt ist, das nach dem schwedischen Mathematiker Weibull benannt ist. Man spricht daher von einer Weibull-Verteilung.

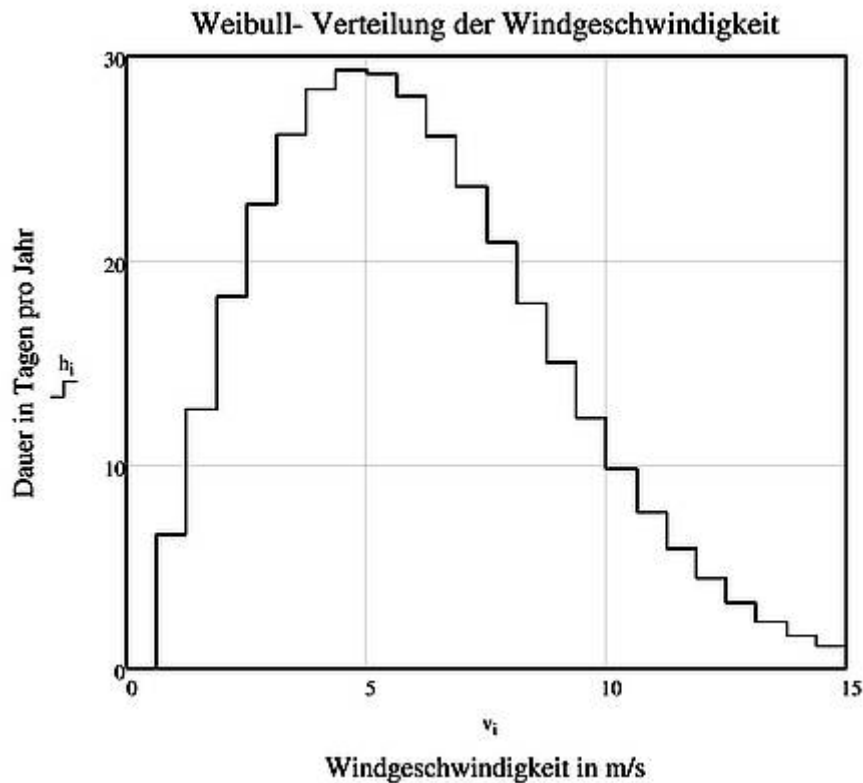


Abbildung 1: Weibull- Verteilung bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5,75m/s

Bei einem Windrad erzeugt nun der Wind auf die Rotorflügel einen Druck, der den Rotor in Drehung versetzt. Diese Kraft auf den Rotor erzeugt im Generator den Strom, den ein Windrad ins Netz einspeist. Die Menge an produziertem Strom wird nach Kilowattstunden (kWh) bemessen – so wie im Privathaushalt die Strommenge nach kWh abgerechnet wird, wird auch die Stromproduktion so gemessen. Genaugenommen verbirgt sich hinter der Kilowattstundenzahl nicht die Strommenge, sondern der Gegenwert an Energie, den ein Windrad produziert. Wenn ein Windrad nun gemütlich vor sich hin trudelt, wird es einen längeren Zeitraum brauchen, um eine bestimmte Strommenge zu produzieren. Bei schwachem Wind (Windgeschwindigkeit 4 m/s) braucht ein 3000 kW Windrad ungefähr 20 Stunden, um den Jahresverbrauch eines Haushalts von 2500 kWh zu erzeugen. Bei starkem Wind (Windgeschwindigkeit 10 m/s) kann es die gleiche Strommenge in nur einer Stunde produzieren – das Windrad läuft mit weitaus höherer Anstrengung und leistet mehr. Der Grad der Anstrengung einer Maschine wird in der Fachsprache als deren Leistung bezeichnet. Die größte Leistung einer Maschine ist deren Nennleistung. Die Leistung wird in der Einheit kW gemessen- bei Autos hat sich bis heute die Angabe in PS gehalten. Die PS-Zahl ist beim Auto die Nennleistung des Motors.

Strom muss im Augenblick des Verbrauchs produziert werden- die Leistung der Stromquelle muss in jedem Augenblick mit der Leistung des Verbrauchers übereinstimmen. Aus diesem Grund ist für die Beurteilung der Verfügbarkeit die sogenannte momentane Leistung (kW) und nicht die

Strommenge (physikalisch korrekter: die Arbeit, gemessen in kWh) für die Beurteilung maßgeblich.

Die Leistung (kW) eines Windrads steigt und fällt mit der Windgeschwindigkeit. Die im Windrad produzierte elektrische Leistung schwankt mit der Windgeschwindigkeit. Man würde salopp sagen, je höher die Windgeschwindigkeit ist, desto höher ist auch die Leistung des Windrads. Leider ist es nicht ganz so einfach, weil die Leistung sehr viel stärker anwächst als die Windgeschwindigkeit selbst: Wie man sagt, ist dieser Zusammenhang bei einem Windrad „kubisch“, d. h. die Leistung des Windrads ändert sich mit der 3. Potenz der Windgeschwindigkeit. Dieser Zusammenhang ist bekannt, seit man Ventilatoren, Propeller und Schiffsschrauben baut. Das bedeutet, dass sich die Leistung verachtfacht, wenn sich die Windgeschwindigkeit verdoppelt. Die Leistung eines Windrads reagiert also sehr empfindlich auf Änderungen der Windgeschwindigkeit. Das kann man auch daran ablesen, dass die Produktion der gleichen Strommenge mal fast einen ganzen Tag und bei günstigem Wind nur eine Stunde dauert. Bei einem Windrad mit einer Leistung von 3000 kW bedeutet das, dass die Leistung von 37 kW auf 480 kW anwächst, wenn sich die Windgeschwindigkeit von 3 m/s auf 6 m/s erhöht. Die genannten Zahlen stammen aus einem Datenblatt für eine Enercon 101- Windkraftanlage. Diese Leistungscharakteristik könnte für eine Stromversorgung ungünstiger nicht sein – schließlich ändert sich die Windgeschwindigkeit zufällig je nach Wetterlage. Eine kaum spürbare Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 10% bewirkt eine Leistungserhöhung von 30%. Bei schwachem Wind trudelt ein Windrad eher gemütlich vor sich hin, bei starkem Wind läuft es zur Höchstleistung auf. Ein Auto mit zufälligen Zündaussetzern, das mit Vollgas gefahren wird, hat ein ähnliches Leistungsverhalten.

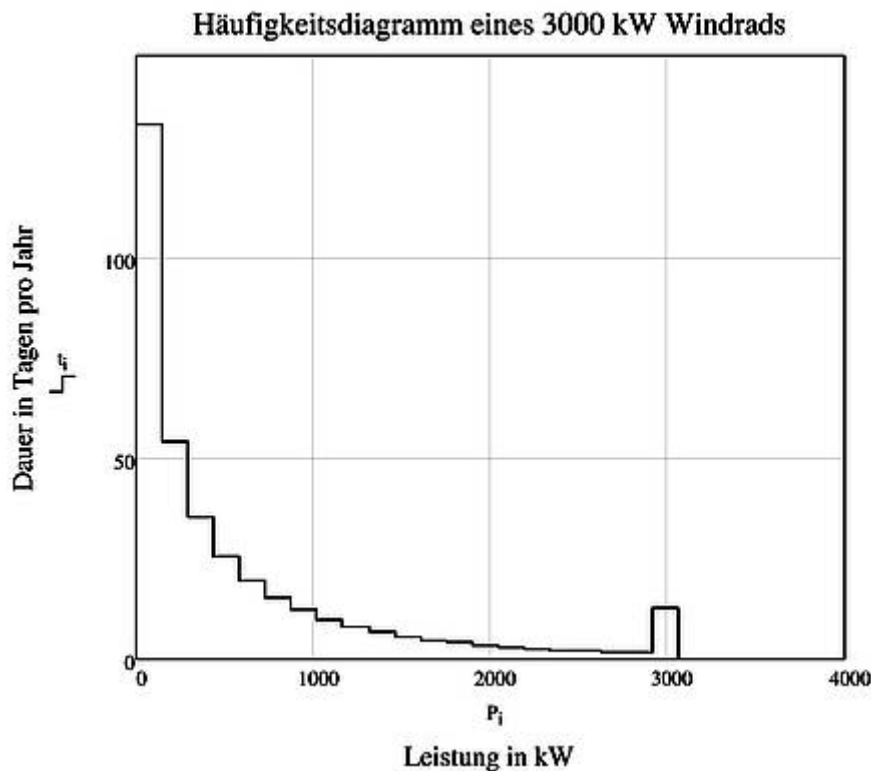


Abbildung 2: Häufigkeitsdiagramm eines 3000 kW- Windrads

Wenn man nun das Häufigkeitsdiagramm der Windgeschwindigkeit kennt, wie kommt man nun auf das Häufigkeitsdiagramm der eingespeisten Leistung? Hier hilft die Mathematik: Man kann das Häufigkeitsdiagramm der Windgeschwindigkeit umrechnen auf das Häufigkeitsdiagramm der eingespeisten Leistung. Hier kommt man zunächst zu dem überraschenden Ergebnis, dass die Häufigkeit der eingespeisten Leistung einer gänzlichen anderen Gesetzmäßigkeit folgt als die Windgeschwindigkeit. Diese Tatsache ergibt sich aus der kubischen Abhängigkeit der Leistung von der Windgeschwindigkeit. Das Häufigkeitsdiagramm eines 3000 kW Windrads ist in Abbildung 2 dargestellt. Unschwer kann man erkennen, daß niedrige Leistungen sehr häufig und hohe Leistungen eher die Ausnahme sind. In dieser Abbildung kann man ablesen, dass die Leistung eines 3000 kW Windrads an 132 Tagen im Jahr (also mehr als 4 Monate) zwischen 0 und 145kW (das sind rund 5 % der Nennleistung) liegt. Die volle Leistung (hier 3000 kW) erreicht ein Windrad nur selten. Dass Windräder häufig still stehen, ist also kein subjektiver Eindruck, sondern eine mathematisch beweisbare und damit erwiesene Tatsache. In einer Propagandaschrift der Windlobby unter dem Titel ‚A bis Z- Fakten zur Windenergie‘ wird dieser Zusammenhang wie folgt umschrieben „Allerdings drehen sich die Rotoren nicht immer mit maximaler Leistung“.

Aus diesem Grund ist die weit verbreitete Behauptung der Windlobby unzutreffend, dass Windräder Haushalte mit Strom versorgen können – die Versorgungsaufgabe scheitert schon daran, dass Windräder keinen Strom liefern wenn, und das ist sehr häufig, der Wind nur mäßig weht und Leistung daher klein ist. Letztlich ist dies Folge aus der Weibull-

Verteilung der Windgeschwindigkeit und dem (kubischen) Zusammenhang zwischen eingespeister Leistung und Windgeschwindigkeit.

Betrachtet man nun eine größere Fläche, in der eine große Anzahl von Windkraftanlagen verteilt ist, stellt sich die Frage, in welchem Umfang sich diese Windräder untereinander ergänzen können. Produzieren die einen Windräder Strom, wenn andere still stehen? Weht der Wind immer irgendwo? Ohne eine genaue statistische Analyse vorzunehmen, kann man sich dieser Frage vorläufig ganz anschaulich nähern: Hohe Windgeschwindigkeiten treten typischerweise bei Tiefdruckwetterlagen auf und die Größe des Tiefdruckgebiets bestimmt die Fläche, in der mit erhöhten Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist. In der gesamten Fläche sind dann hohe eingespeiste Windleistungen zu erwarten. Die umgekehrte Aussage gilt in der gleichen Weise: Bei geringen Windgeschwindigkeiten sind die Windleistungen in der gesamten Fläche niedrig. In beiden Fällen können sich Windräder in dieser Fläche nicht untereinander ergänzen. Bei Hochdruckwetterlagen können diese Flächen schon mal so groß wie ganz Deutschland sein. Mittlere Tiefdruckgebiete haben praktisch immer die Größe von mindestens mehreren Bundesländern, normale Tiefdruckgebiete überdecken fast immer ganz Deutschland.

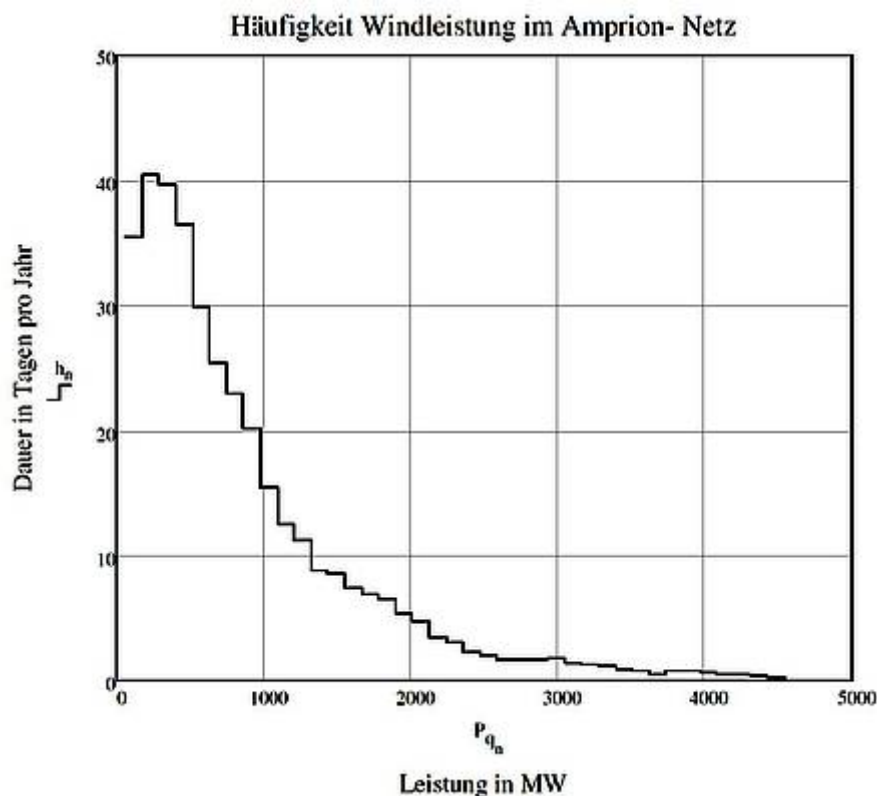


Abbildung 3: Häufigkeitsdiagramm der Windleistung im Amprion- Netz

Wenn man nun das Häufigkeitsdiagramm der eingespeisten Windleistung in einem kleineren Gebiet, wie etwa das vom Netzbetreiber Amprion, erstellt, findet man diese Überlegungen bestätigt:

Auch in einem Gebiet von der Größe des Amprion-Netzes ergänzen sich

Windräder untereinander nicht. Das Häufigkeitsdiagramm zeigt noch immer den fallenden Verlauf: Niedrige Leistungen bis zum Stillstand sind besonders häufig, große Leistungen sind eher selten. Auch eine große Zahl von Windrädern verhält sich offensichtlich ähnlich wie ein einzelnes Windrad. Auch in einer mittleren Fläche ist der häufigste Betriebszustand aller Windräder zusammen der Stillstand.

Nimmt man die eingespeiste Leistung von ganz Deutschland (Abbildung 5), kann man im Häufigkeitsdiagramm zumindest erkennen, dass kleine Leistungen seltener werden. Die Leistung Null kommt, anders als bei Flächen von der Größe Niedersachsens oder Nordrhein- Westfalens, nicht mehr vor. Windräder können sich in geringem Umfang durchaus ergänzen: Gleichwohl sinken die Leistungen im großflächigen Verbund auf sehr geringe Werte ab. Bei einer installierten Windrad-Leistung von 31000 MW im Jahre 2012 ist die niedrigste Einspeiseleistung aller Windräder in Deutschland zusammen auf 170 MW (also auf 0,5% der installierten Leistung) gesunken. Dieser Wert ist so nahe bei Null, dass man die Aussage treffen kann, dass die gesicherte Leistung aller Windkraftanlagen in Deutschland zusammen mit Null anzusetzen ist. Damit ist nachgewiesen, dass sich die Anlagen auch bei einer Fläche von der Größe Deutschlands nicht untereinander zu einer gesicherten Leistung ergänzen.

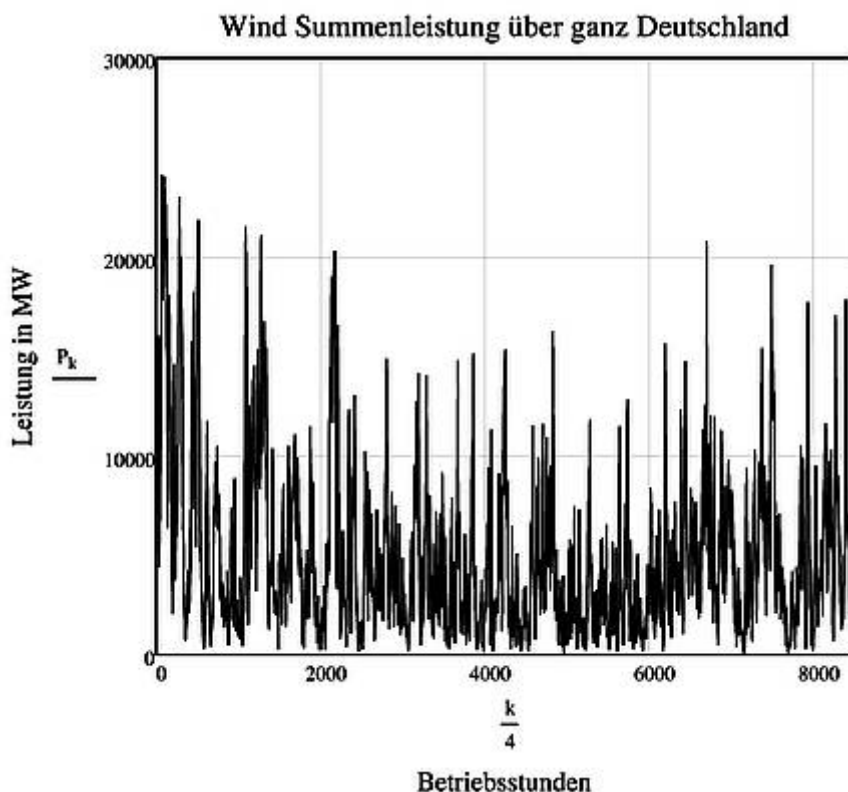


Abbildung 4: Zeitverlauf der Windleistung in ganz Deutschland

Immer wieder, so auch im IWES Windenergie Report 2012, wird behauptet, „andererseits erreicht man nur durch eine gleichmäßige geografische Verteilung über eine große Fläche eine Glättung der Netzeinspeisung“.

Abgewandelt findet sich diese These auch in der Agora Kurzstudie Entwicklung der Windenergie in Deutschland in der Form „Ein geographisch verteilter Ausbau führt zu einer stetigeren Einspeisung aus Windenergieanlagen.“

Alle 23000 Windkraftanlagen in Deutschland verhalten sich in ihrem Häufigkeitsdiagramm ungefähr so, wie ein einzelnes Windrad (Abbildung 2). Daraus ergibt sich, dass die Einspeisungen der einzelnen Windräder untereinander stark korreliert sind- wenn ein Windrad hohe Leistungen einspeist, ist das auch für eine große Zahl anderer Windräder der Fall. Das erklärt den ausgeprägt ungleichmäßigen Verlauf der Einspeisung in Abbildung 4. Ein weiterer Ausbau der Windenergie bewirkt aufgrund dieser Korrelation keine stetigere Einspeisung, sondern vielmehr einen Anstieg der Ungleichmäßigkeit. Diese Aussage fußt auf einem Satz aus der mathematischen Statistik, demzufolge die Ungleichmäßigkeit (mathematisch korrekter: Streuung bzw. Standardabweichung) korrelierter zufälliger Größen mit dem Mittelwert anwächst. Am IWES- Institut hat man durchaus richtig erkannt, dass es „eine grundsätzliche Korrelation der Erzeugung aus Wind in ganz Deutschland“ gibt. Dass diese Aussage mathematisch im Widerspruch zur behaupteten „stetigeren Einspeisung“ steht, gehört dort offenbar (noch) nicht zum Stand des Wissens.

Der nunmehr von der Politik beschlossene weitere Ausbau der Windkraft in Deutschland wird daher die bekannten technischen und ökonomischen Probleme mit der schlichten Strenge mathematischer Notwendigkeit weiter verschärfen.

Dass sich technisch vorgebildete Autoren zu der ganz offensichtlich unzutreffenden Behauptung „Aufgrund der Distanz von über 600 km, flaut der Wind üblicherweise nicht zum selben Zeitpunkt in Hamburg und München ab“ hinreißen lassen und bei einem Zeitverlauf wie in Abbildung 4 von „Glättung“ sprechen, wirft ein Schlaglicht auf die Qualität und Seriosität wissenschaftlicher Arbeit einschlägiger Studien und Konzepte.

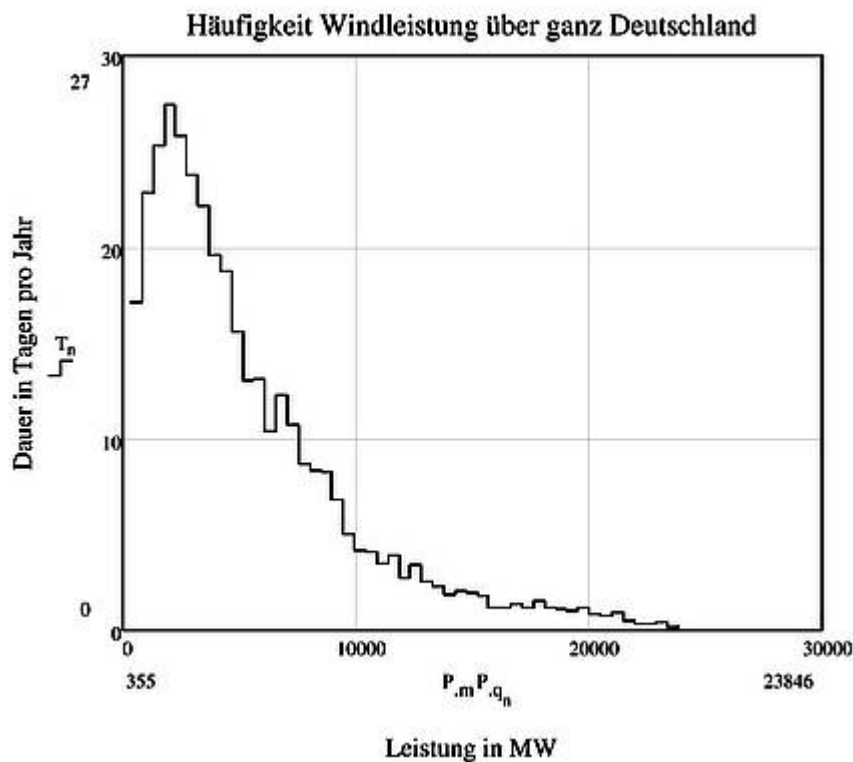


Abbildung 5: Häufigkeitsdiagramm der Windleistung in ganz Deutschland

Leistung immer sicher zur Verfügung zu stellen, wird als Grundlastfähigkeit bezeichnet. Die oft verbreitete Aussage, der Wind wehe immer irgendwo ist erwiesenermaßen unzutreffend. Auch über das ganze Land gesehen sind Windkraftanlagen nicht grundlastfähig. Ohne zusätzliche grundlastsichere Kraftwerke ist eine unterbrechungsfreie sichere Stromversorgung mit Windrädern in Deutschland schon aus Gründen der statistischen Verfügbarkeit nicht möglich. In dem Häufigkeitsdiagramm für die gesamte bundesweit eingespeiste Windleistung kann man außerdem ablesen, dass die Windleistung an 120 Tagen (also rund 4 Monaten) im Jahr unterhalb von 10% der installierten Leistung liegt.

Fazit:

Bei einem Versorgungsgebiet von der Größe Deutschlands ist Windkraft nicht in der Lage, einen Beitrag zur Sicherung der Grundlast bei der Stromversorgung zu leisten.

Photovoltaik

Die Nennleistung aller Photovoltaikanlagen in Deutschland belief sich per Ende 2012 auf rund

32.700 MW. Diese Leistung steht aus naheliegenden Gründen bei Dunkelheit nicht zur Verfügung, womit klar, ist, dass Photovoltaikanlagen keinen Beitrag zur Sicherung der Grundlast leisten. Das Häufigkeitsdiagramm in Abbildung 6 zeigt, dass alle Solaranlagen zusammen in 52% ihrer Betriebsdauer (das sind rund 190 Tage im Jahr) keinen Strom liefern.

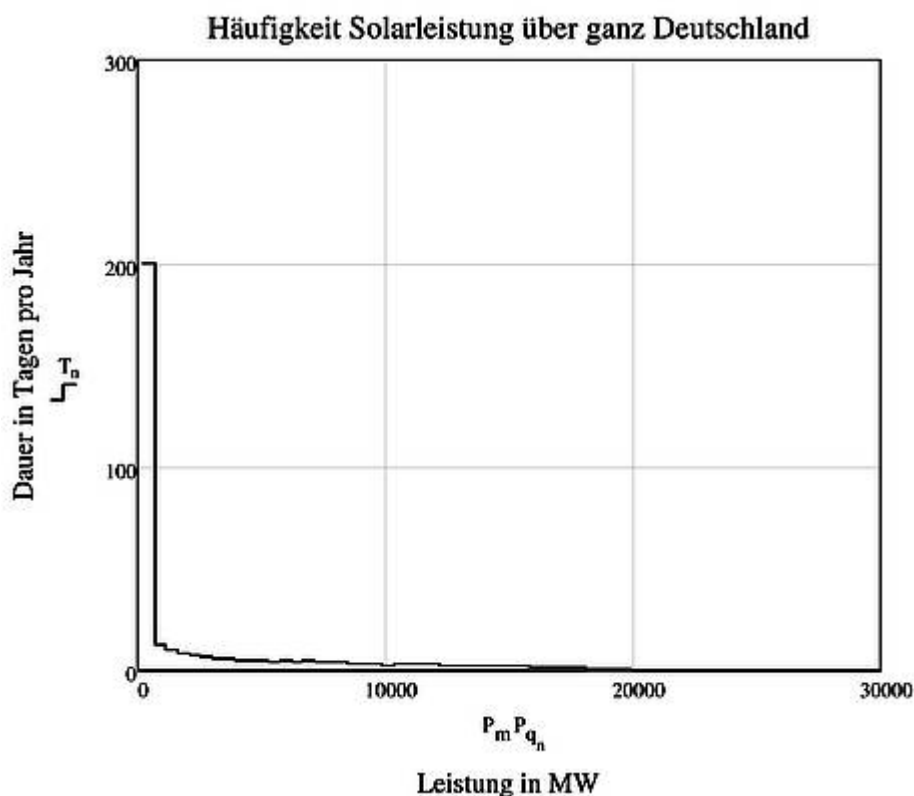


Abbildung 6: Häufigkeitsdiagramm der Solarleistung in ganz Deutschland

An 292 Tagen (diese Zeitspanne entspricht ungefähr neuneinhalb Monaten) liegt die Leistung unter 6700 MW, also unter 20% der Nennleistung. Diese Zahlen verdeutlichen, dass die Angabe der Nennleistung nichts über die Verfügbarkeit einer Energieform aussagt. Die durchschnittliche Leistung aller Solaranlagen in Deutschland liegt bei 3200 MW, also bei 10% der installierten Leistung.

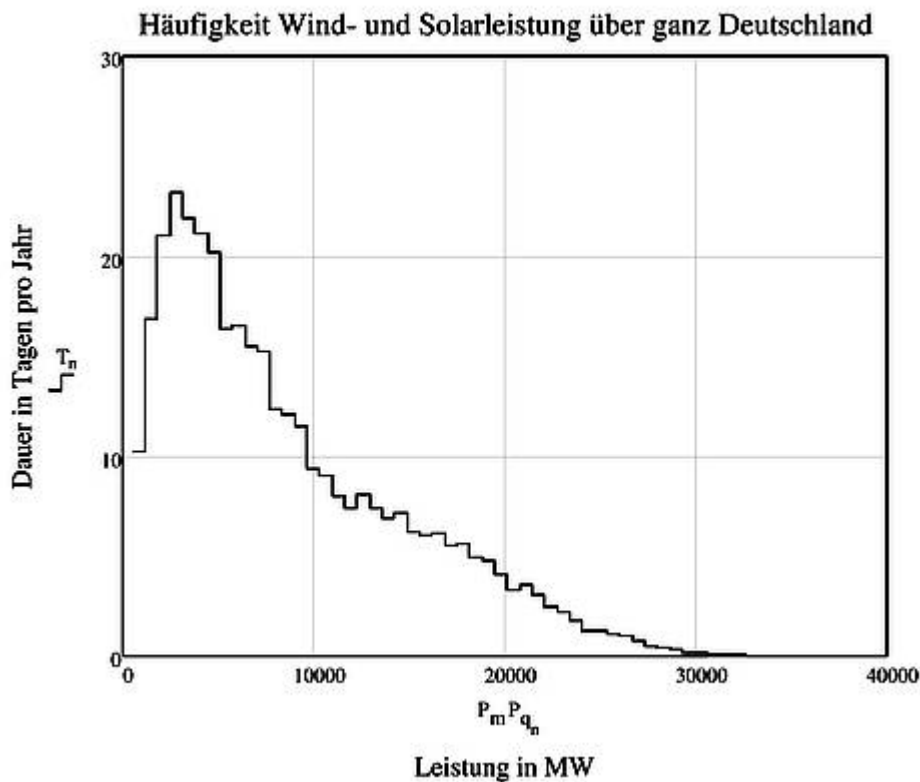
Windkraft und Photovoltaik

Der Gedanke, dass die aus Wind- und Photovoltaikanlage

**n gewonnenen
Energien sich
gegenseitig
ergänzen, hat
etwas Verlockendes
und scheint
zunächst sogar
naheliegend.
Schließlich
überwiegt im
Sommer der
Sonnenschein und**

**in den eher
dunklen
Wintermonaten der
Wind. In
Deutschland sind
per Ende 2012
Wind- und
Solarkraftwerke
mit einer
Nennleistung von
rund 64.000 MW
installiert. Einen**

**Beitrag zur
sicheren Grundlast
können beide
Energieformen
nicht leisten,
weil die Grundlast
von Wind- und
Photovoltaik
einzeln und auch
zusammen bei Null
liegt.**



**Abbildung 7:
Häufigkeitsdiagramm
m der Wind- und
Solarleistung in
ganz Deutschland**

**Das
Häufigkeistsdiagramm in Abbildung 7 zeigt, dass die summarische Leistung aus Wind- und Sonnenenergie an 90 Tagen im Jahr (3 Monate) unter 3200 MW (entsprechend 5% der installierten**

**Leistung) und an
180 Tagen (6
Monate) unter 6550
MW (entsprechend
10% der
installierten
Leistung) liegt.
Während eines
halben Jahres
stehen die
sogenannten
erneuerbaren**

**Energien nur zu
einem Bruchteil
der Nennleistung
zur Verfügung. Die
Behauptung, dass
sich beide
Energieformen im
Mix ergänzen, ist
daher
unzutreffend.**

Bei einem

**Versorgungsgebiet
von der Größe
Deutschlands sind
Wind- und
Solarenergie nicht
in der Lage, einen
Beitrag zur
Sicherung der
Grundlast bei der
Stromversorgung zu
leisten. Auch im
Verbund liegt**

**deren sichere zur
Verfügung stehende
Leistung bei Null
– ein Netz kann
mit diesen
Kraftwerken ohne
Speicher bzw.
zusätzliche
Kraftwerke nicht
betrieben werden.
Ohne Stromspeicher
benötigt jede**

**Wind- oder
Solaranlage ein
konventionelles
Kraftwerk, das bei
zurückgehender
Leistung
einspringen kann.**

**Da bis heute
Speicher von
nennenswerter
Größe nicht**

**vorhanden sind und
auch nicht
absehbar ist, dass
eine Technologie
zur Speicherung in
ausreichendem
Umfang zur
Verfügung steht,
können Windkraft-
und Solaranlagen
nur im
Zusammenspiel mit**

**konventionellen
Kraftwerken
betrieben werden-
hierbei ist es
zunächst
gleichgültig, ob
diese Kraftwerke
mit Kohle oder
Erdgas befeuert
werden. Diese
konventionellen
Kraftwerke laufen**

**im Hintergrund und
werden in ihrer
Leistung zurück
gefahren, wenn die
Leistung aus Wind-
und Solarkraft
ansteigt und
wieder hoch
gefahren, wenn die
Leistung sinkt.
Hierzu sind diese
Kraftwerke im**

**allgemeinen in der
Lage, weil sie
schnell auf
Lastwechsel
reagieren können
und müssen. Ein
modernes
Kohlekraftwerk ist
ohne weiteres in
der Lage, die
Leistung um 60%
der Nennleistung**

**in 15 Minuten also
beispielsweise von
200 MW auf 500 MW
zu erhöhen. Dieser
Lastwechselbetrieb
einer
Kraftmaschine ist
für jeden
Autofahrer völlig
selbstverständlich
, wenn er beim
Beschleunigen auf**

**das Gaspedal
tritt: Binnen
einiger Sekunden
steht die
Nennleistung zur
Verfügung. Dieses
Regelverhalten
eines Kraftwerks
ist für den
sicheren Betrieb
eines Stromnetzes
unabdingbar, weil**

**Kraftwerke in der
Lage sein müssen,
Schwankungen der
Last
augenblicklich
auszugleichen! Die
Grenzen der
Regelungsfähigkeit
von Kraftwerken
sind erreicht,
wenn die
eingespeiste**

**Leistung aus
sogenannten
erneuerbaren
Energien schneller
ansteigt, als ein
Dampfkraftwerk
zurückgefahren
werden kann. Um
das Stromnetz vor
einem
Zusammenbruch zu
bewahren, werden**

**konventionelle
Kraftwerke dann im
sogenannten
Drosselbetrieb
gefahren: Der
Dampf aus dem
Dampferzeuger wird
an der Turbine
vorbei geleitet
und im Kondensator
wieder zu Wasser
kondensiert. Diese**

**Kraftwerke
verbrauchen dann
zwar Brennstoff
und produzieren
CO₂, liefern aber
keinen Strom. Der
Verbundbetrieb von
konventionellen
Kraftwerken mit
Windkraft- und
Solaranlagen
bestimmt auch die**

**Grenze des
weiteren Ausbaus.
Wenn die
konventionellen
Kraftwerke auf
ihre kleinste
Leistung
zurückgefahren
sind, kann die
Leistung aus
Solar- und Wind
vom Netz nicht**

**mehr aufgenommen
werden, die
Anlagen müssen
abgeregelt, also
in ihrer Leistung
begrenzt werden,
weil der Strom
dann vom Netz
nicht mehr
aufgenommen werden
kann oder ins
Ausland verkauft**

werden muss.

**Mit der
beschlossenen
Abschaltung der
Kernkraftwerke in
Deutschland steht
deren Leistung zur
sicheren
Versorgung der
Netze in wenigen
Jahren nicht mehr**

zur Verfügung. Da die gesicherte Grundlast von Photovoltaik und Windenergie bei Null liegt, muss diese Leistung durch konventionelle Kraftwerke ersetzt werden. Ein Zubau an Kapazitäten ist

**eine physikalische
und technische
Notwendigkeit,
will man das
Stromnetz auch in
Zukunft sicher
betreiben. Hierfür
kommen nur Gas-
oder
Kohlekraftwerke in
Frage – die
Abschaltung der**

**Kernkraftwerke ist
daher nur mit
einem Ausbau der
konventionellen
Kraftwerkskapazitä-
ten möglich. Wer
die Abschaltung
von
Kohlekraftwerken
fordert, oder den
Neubau von
konventionellen**

**Kraftwerken
verhindern will,
hat die Physik
gegen sich.**

**Es ist daher
fragwürdig, ob
sich die CO₂-
Emissionen durch
Solar- und
Windkraftanlagen
senken lassen- es**

**ist eher zu
erwarten, dass
diese Emissionen
in Zukunft -wie im
letzten Jahr-
weiter ansteigen
werden.**

Literatur

**Hennig, H.-M.,
Palzer, A.:**

**100 % erneuerbare
Energien für Strom
und Wärme in
Deutschland**

**Fraunhofer-
Institut für
Solare
Energiesysteme ISE**

**Stuttgart, Kassel,
Teltow, 2012**

NN:

A bis Z

**Fakten zur
Windenergie**

Hrsg.:

**Bundesverband
Windenergie e.V.,
Berlin**

Rohrig, K.:

Windenergie Report Deutschland 2012

**Hrsg.: Fraunhofer-
Institut für
Windenergie und
Energiesystemtechn
ik (IWES), Kassel,
2012**

Pape, C. et. al:

Entwicklung der Windenergie in Deutschland

**Agora Kurzstudie
erstellt vom
Fraunhofer- IWES,
Kassel, Juni 2013**

**Über den Autor:
Dr.-Ing. Detlef
Ahlborn**

ist bei Vernetzkraft Leiter Fachbereich

**Jahrgang 1960,
selbständiger
Unternehmer, Vater
von 2 Kindern,
Motorradfahrer und
Naturwissenschaftl
er aus
Leidenschaft, aus
Großalmerode in
Hessen.
Bürgerinitiative**

**Pro Kaufunger Wald
und Hirschberg.**

**Fachgebiet: Energi
e- und
Kraftwerkstechnik,
Speicherung von
erneuerbaren
Energien,
statistische
Analyse und
Verfügbarkeit von**

Wind- und Solarenergie.