

# Das kleine Windrad - 1x1



**Leistung des Windrades:**

**Windleistung x Leistungsbeiwert**

# Windgeschwindigkeit - Leistung

---

Die Windleistung errechnet sich aus:

$$P_W = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$$

$P_W$  = Leistung des Winds [Watt]

$\rho$  = Luftdichte: [1,225 kg/m<sup>3</sup>]

$A$  = vom Wind durchströmte Fläche (Rotorfläche) [m<sup>2</sup>]

$v$  = Windgeschwindigkeit [m/s]

abgeleitet aus:  $E_{kin} = \frac{1}{2} \times m \times v^2$      $m = \rho \times A \times v$

# Windgeschwindigkeit - Leistung

---

## Leistungsbeiwert nach Betz [ $c_p$ ]

Das **Betz'sche Gesetz** besagt, dass eine Windkraftanlage  
**max. 16/27 (60 %)**  
der Windleistung in Nutzleistung umwandeln kann.

Der **Betz'sche Leistungsbeiwert** beschreibt den Gütefaktor  
einer Windkraftanlage.

Moderne Rotoren erreichen Leistungsbeiwerte von  
 **$c_p = 0,4$  bis  $0,5$**   
das sind etwa 70 % bis 85 % des theoretisch Möglichen.

# Windgeschwindigkeit - Leistung

Beispielrechnung:

## Enercon E- 101

RotorØ	101 m	Dichte der Luft	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Rotorfläche	8011,6 m <sup>2</sup>	cP WR	0,469
Windgeschwindigkeit	7 m/s		

$$P_{\text{Wind}} = 1/2 \times \frac{1,225 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 8012 \text{ m}^2 \times \frac{7^3 \text{ m}^3}{\text{s}^3}$$

$$P_{\text{Wind}} = 1.683.139 \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^3} = 1.683 \text{ kW}$$

$$P_{\text{WR}} = 1.683 \text{ kW} \times 0,469 = 789 \text{ kW}$$

- P = Leistung des Winds [Watt]
- $\rho$  = Luftdichte = 1,225 kg/m<sup>3</sup>
- A = Rotorfläche = 8012m<sup>2</sup>
- v = Windgeschwindigkeit = 7 m/s

c<sub>p</sub> für E-101 bei 7m/s

## Ergebnis:

**Wenn sich ein Windrad**  
(in unserem Beispiel ein Enercon E-101)  
**bei konstant 7 m/s Windgeschwindigkeit**  
**1 Stunde lang dreht, werden 789 kWh**  
**Strom erzeugt.**

D.h. in 4 – 5 Stunden wäre der Jahresstrombedarf  
einer 4-köpfigen Familie erzeugt.

# Windgeschwindigkeit - Ertrag

---

Jährliche Durchschnitts-Windgeschwindigkeit?

Der Energie-Ertrag hängt nicht allein von der jährlichen Durchschnitts-Windgeschwindigkeit, sondern viel mehr von der **Windgeschwindigkeits-Verteilung** pro Jahr ab.

Mit linearer Zunahme der Windgeschwindigkeit steigt die Energieleistung der Windkraftanlage in kW in der dritten Potenz.

Das heißt:

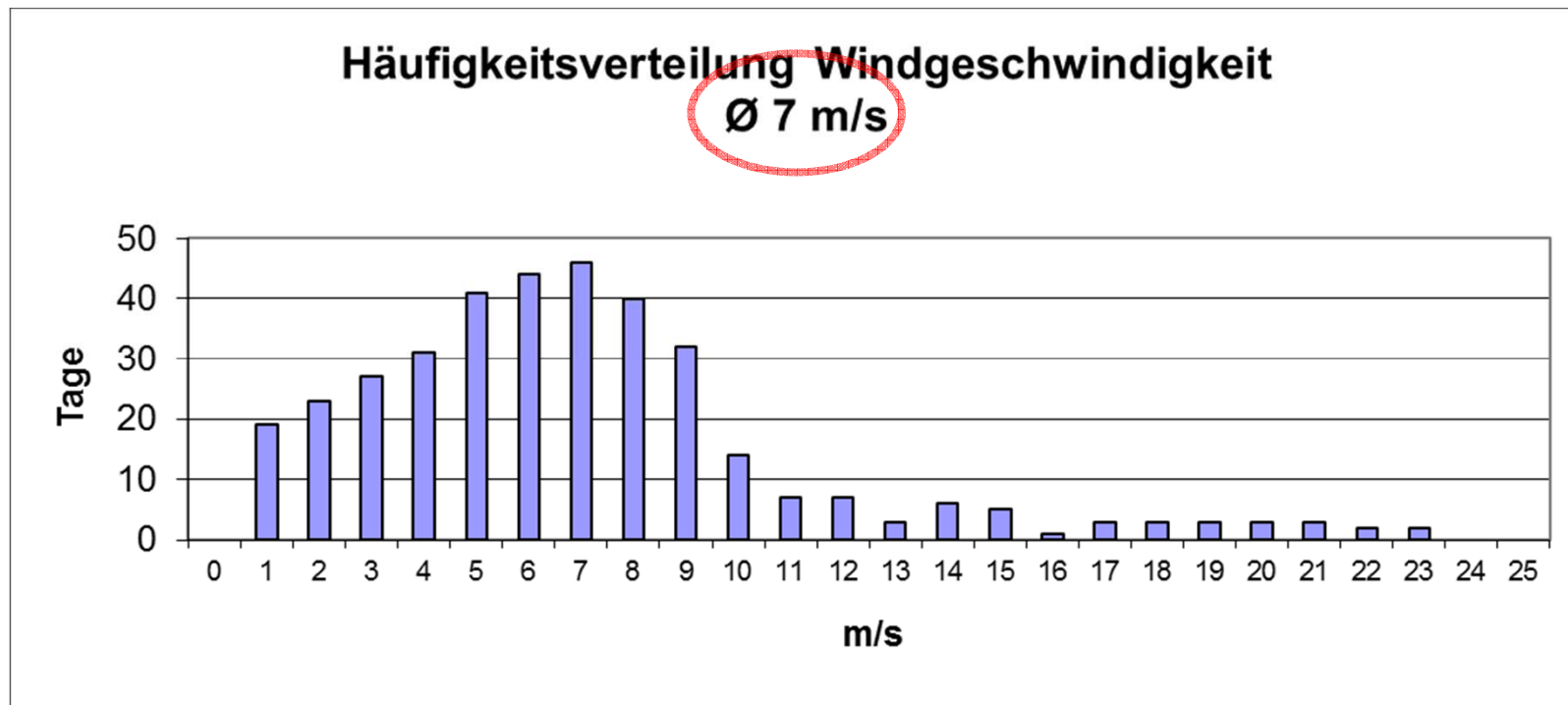
**Doppelte Windgeschwindigkeit = 8-fache Energieleistung**

# Windgeschwindigkeit - Ertrag

Enercon E-101

Ertrag: 6,45 Mio. kWh

Eine solche Verteilung wird auch als **Weibull-Verteilung** bezeichnet.





## Zum Vergleich:

An einem weniger windhöffigen Standort,  
bei z.B. **5,5 m/s** Windgeschwindigkeit,  
erzeugt die vorhin beschriebene Anlage in  
**1 Stunde noch 357 kWh** Strom.

=> bei 7 m/s: 789 kWh

**Das sind noch 45%!!!**

D.h. für den Jahresstrombedarf der 4-köpfigen Familie  
müsste dieses Windrad gut doppelt so lange laufen  
bzw. man bräuchte, um die gleiche Strommenge zu  
erzeugen, mind. die doppelte Anzahl Windräder!

## PV-Anlagen in Niedereggenen 2012\*:

Installierte Leistung: **695,963 kW<sub>peak</sub>**

Eingespeiste Strommenge: **603.879 kWh**

=> ca. 1000 kWh/Einwohner, entspricht etwa dem Verbrauch

=> Solarbundesliga: D: ca. Platz 170; Lkr. LÖ: einsame Spitze

**Das bedeutet, mit unserem Beispiel einer  
Enercon E-101 an einem guten Standort:**

**1 Windrad erzeugt 10 mal soviel Strom wie  
alle PV-Anlagen in Niedereggenen.**

\* Stand 31.12.2012 Quelle: Energiedienst

# Volllaststunden

---

Die Volllaststunden (VLh) sind ein Maß für die Ausnutzung eines Kraftwerkes.

Die VLh sind aber *nicht* nur die Stunden, in denen eine Anlage mit Volllast arbeitet. Auch Zeiten mit Teillastbetrieb tragen zur Energieproduktion bei und somit zu den VLh.

Der Wert der VLh ergibt sich, indem man die jährlich erzeugte Energiemenge durch die maximale Leistung der Anlage dividiert.

An unserem Beispiel mit der Enercon E101 mit ihrer max. Leistung von 3 MW = 3000 kW und dem angenommenen Ertrag (Energiemenge) von 6,45 Mio. kWh würde das so aussehen:

$$6.450.000 \text{ kWh} : 3.000 \text{ kW} = 2150 \text{ h (VLh)}$$

# Volllaststunden

In der Kraftwerks- und Energietechnik hat sich die Volllast-Stundenzahl als Kenngröße für den Vergleich von Technologien und Standorten etabliert.

Dies ist aber beim Vergleich von WKA / PVA mit konventionellen Kraftwerken so nicht zulässig.

Ein Kohlekraftwerk z.B. kann ständig mit Brennstoff beschickt werden und kann dadurch auf ca. 8000 VLh kommen.

Das ist bei einem Wind- oder PV-Kraftwerk nicht möglich, weil der „Brennstoff“-Einsatz schwankend, dafür aber **kostenlos** ist.

Nochmal zum Vergleich:

	VLh	% Ausnutzung
Kohlekraftwerk	8000	90
WKA	2150	25

# Volllaststunden

---

Nun wäre es sehr einfach, die VLh eines Windrades deutlich zu erhöhen, indem man einen kleinen Generator mit einem großen Rotor kombiniert. Dadurch würde schon bei einem lauen Lüftchen der Generator unter Vollast laufen.

Allerdings würde man dadurch die hohen Erträge bei höheren Windgeschwindigkeiten „verschenken“.

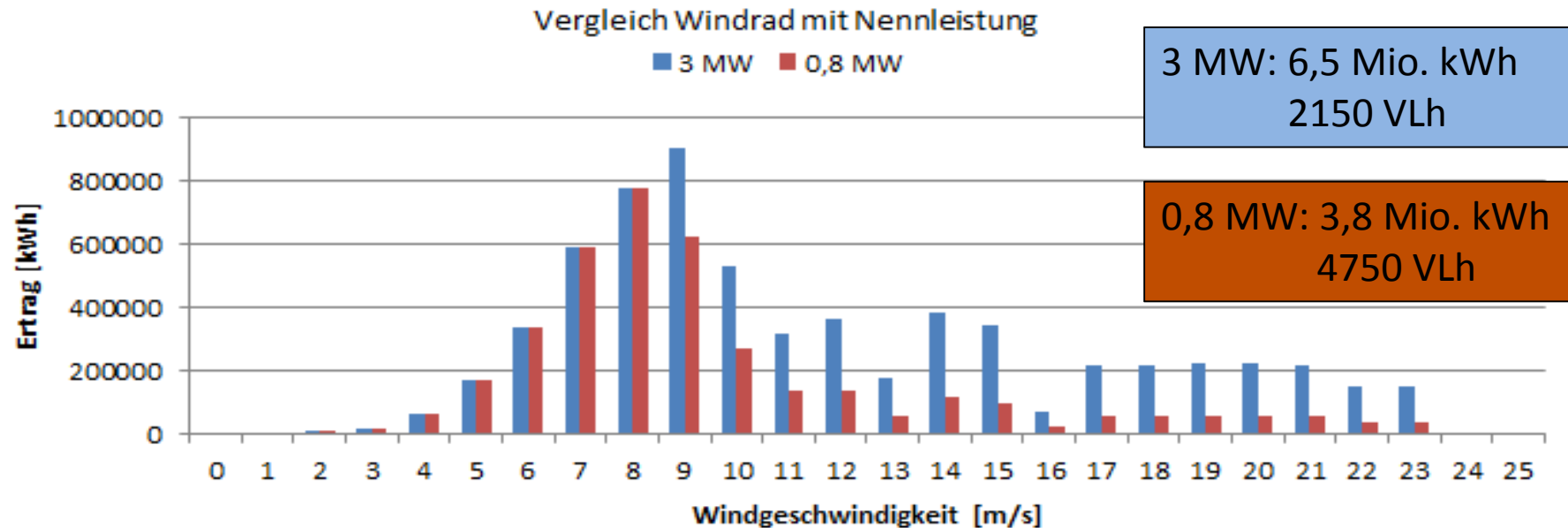
Man erinnere sich:

**Doppelte Windgeschwindigkeit = 8-fache Energieleistung**

Das heißt, das Windrad bringt die vom Rotor eingefangenen „PS“ nicht auf den Boden.

An unserem Beispiel würde das wie folgt aussehen:

# Volllaststunden



Mit einem Windrad der 0,8 anstelle der 3 MW-Klasse würde man näherungsweise (bei gleichem Rotor) 2,7 Mio. kWh verschenken.

Die Volllastzahl jedoch wäre mit 4750 deutlich höher, da das Windrad wesentlich länger unter hoher Auslastung laufen würde.

# Volllaststunden

---

**Daraus folgt: Je größer der Generator, desto kleiner die VLh!**

Die große Kunst besteht nun darin, das optimale Verhältnis zu finden.

Einerseits aus Sicht des Windrad-Betreibers, der eine möglichst hohe Stromproduktion seiner Anlage anstrebt.

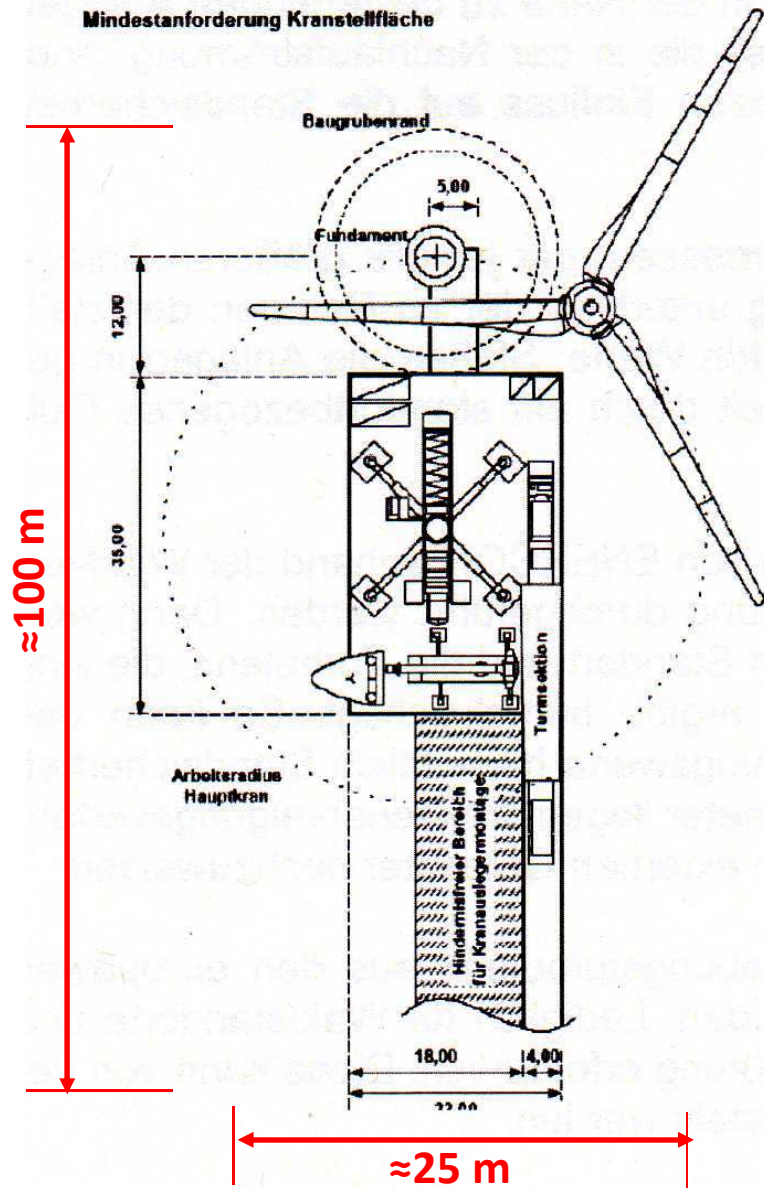
Andererseits muss auch der Gesamt-Zusammenhang betrachtet werden.

Bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten z.B. kann die große Strommenge nicht mehr abtransportiert werden bzw. das Netz müsste unter hohen Kosten über den eigentlichen Bedarf hinweg ausgebaut werden.

Oder das Windrad wird solange abgeschaltet.

**Das Ziel heißt also: Ermittlung des richtigen Verhältnisses zwischen maximalem Ertrag und maximaler Auslastung.**

# Platzbedarf





# Bau – Fundament



Foto: Störfix / Wikipedia

# Bau – Turm



Enercon E-82  
Nabenhöhe ca. 100m





# Bau – Turm (Alternativen)



Verbundsystem aus  
Brettsper Holzplatten

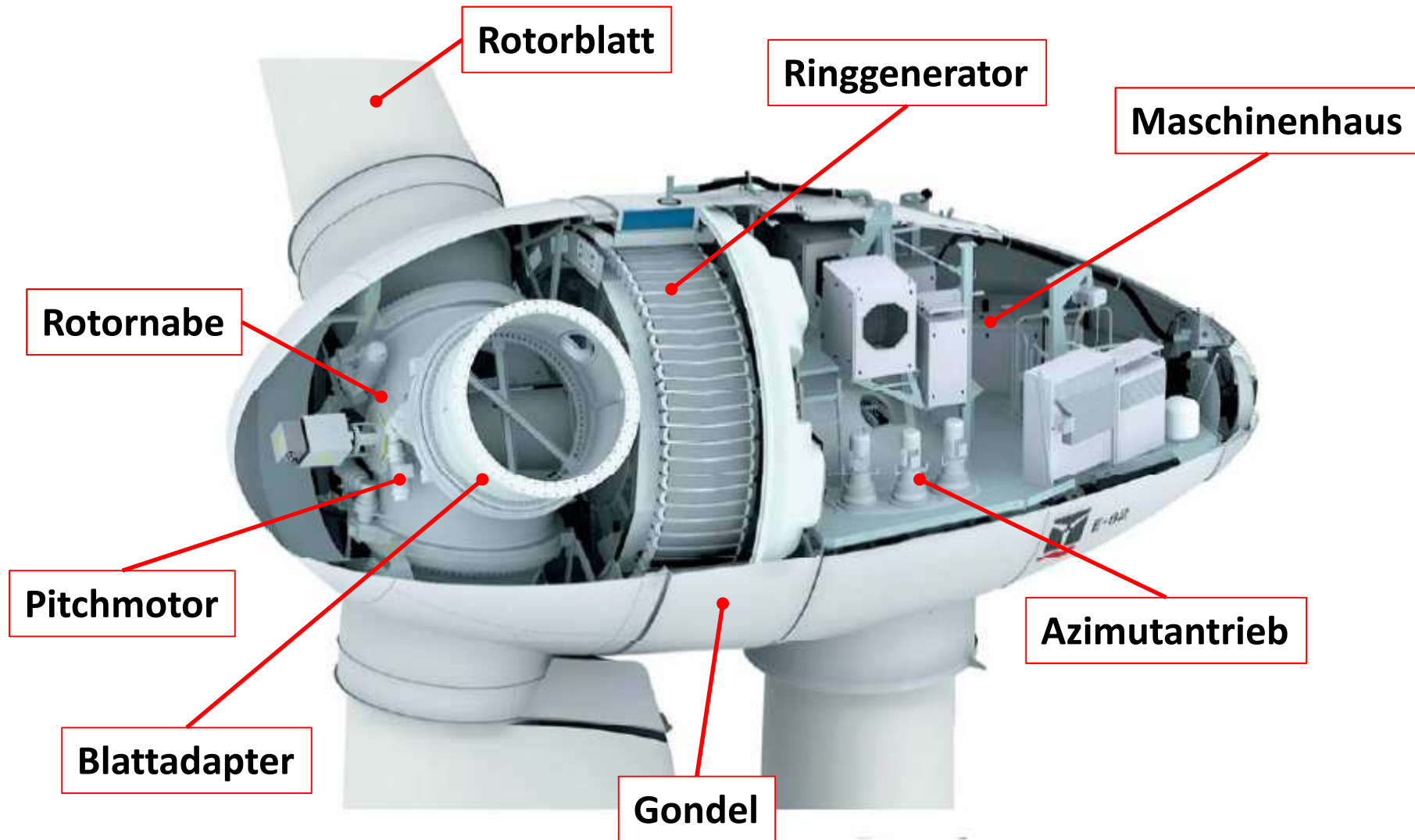


# Zuwegung - Transport



... auch selbstfahrend mit Fernsteuerung

# Technik – Rotor/Generator



## Leistungssteigerung der Windkraftanlagen



	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Nennleistung [kW]	30	80	250	600	1500	3000	7500
Rotordurchmesser [m]	15	20	30	46	70	90	126
Nabenhöhe [m]	30	40	50	78	100	105	135
Jahresertrag [MWh]	35	95	400	1250	3500	6900	20000

Quelle: BWE

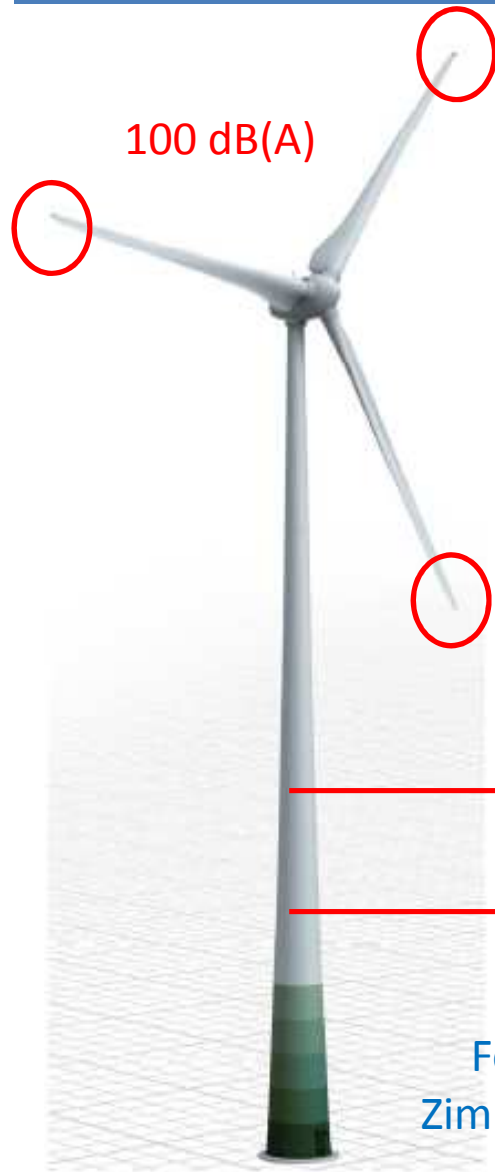


## Windenergie-Zubau 2012 in den Bundesländern

Rang	Bundesland / Region	Zubau in 2012			Durchschnittliche Anlagenkonfiguration in 2012		
		Zubau-Leistung 2012 (MW)	Zubau WEA 2012 (WEA)	Anteil der zugebauten Leistung am Gesamtzubau	Ø Anlagenleistung (kW)	Ø Rotor-durchmesser (m)	Ø Nabenhöhe (m)
1	Niedersachsen	356,13	152	14,7%	2.343	84,7	105,8
2	Schleswig-Holstein	315,85	128	13,1%	2.468	83,6	81,0
3	Mecklenburg-Vorpommern	307,92	124	12,7%	2.483	90,7	108,2
4	Rheinland-Pfalz	292,05	102	12,1%	2.863	95,8	128,9
5	Brandenburg	248,06	110	10,3%	2.255	88,0	113,4
6	Bayern	188,00	76	7,8%	2.474	93,9	133,5
7	Sachsen-Anhalt	178,25	83	7,4%	2.148	86,5	110,2
8	Nordrhein-Westfalen	137,55	67	5,7%	2.053	80,1	101,8
9	Hessen	122,40	53	5,1%	2.309	86,8	127,5
10	Thüringen	102,30	47	4,2%	2.177	91,9	114,8
11	Saarland	31,60	15	1,3%	2.107	89,7	102,7
12	Sachsen	27,05	13	1,1%	2.081	82,2	97,9
13	Baden-Württemberg	18,90	9	0,8%	2.100	82,9	129,9
14	Bremen	9,10	3	0,4%	3.033	100,0	118,0
15	Hamburg	0,00	0	0,0%	-	-	-
15	Berlin	0,00	0	0,0%	-	-	-
	Nordsee	80,00	16	3,3%	5.000	120,0	90,0
	Ostsee	0,00	0	0,0%	-	-	-
	<b>Gesamt</b>	<b>2.415,16</b>	<b>998</b>	<b>100%</b>	<b>2.420</b>	<b>88,4</b>	<b>109,8</b>

Quelle: Windguard

# Geräusche



100 dB(A)

## Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm)

Vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)

### 6. Immissionsrichtwerte

#### 6.1 Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

Die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel betragen für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

c) in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten

tags	60 dB(A)
nachts	45 dB(A)

d) in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten

tags	55 dB(A)
nachts	40 dB(A)

300 m

45 dB(A)

500 m

Nicht mehr  
wahrnehmbar

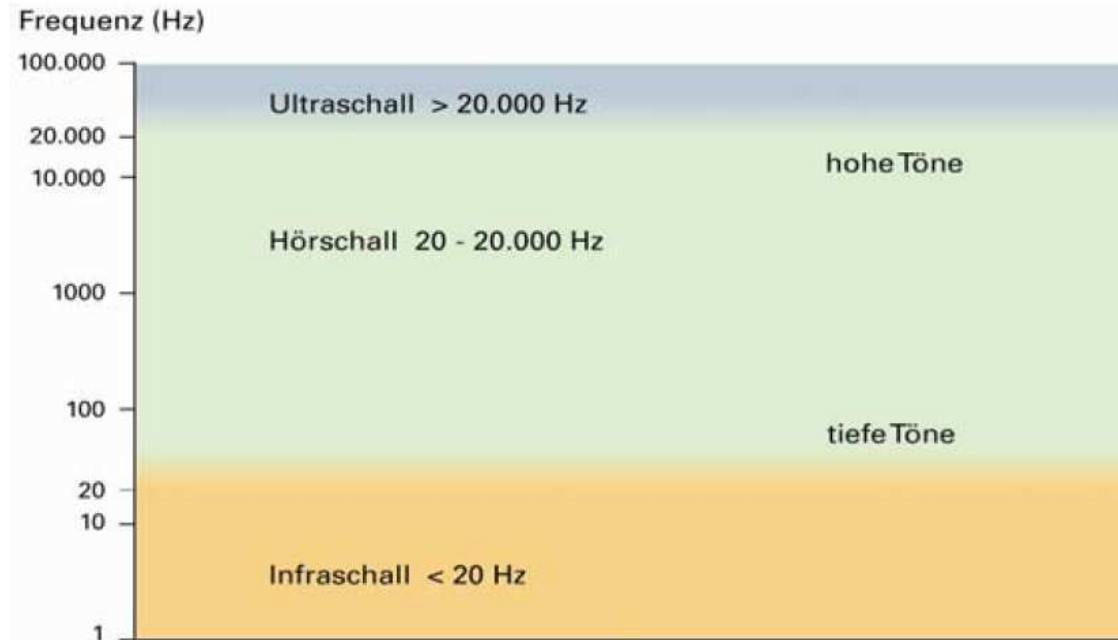
Fernseher in  
Zimmerlautstärke  
60 dB(A)

Normale  
Unterhaltung  
50 dB(A)

Abnahme um 3 dB:  
gefühlte Halbierung  
der Lautstärke



# Infraschall



Bei Infraschall handelt es sich um Töne, die so tief sind, dass Menschen sie normalerweise nicht wahrnehmen. Nur wenn die Lautstärke sehr hoch ist, können wir Infraschall hören oder spüren.

Da die von Windkraftanlagen erzeugten Infraschallpegel in der Umgebung deutlich unterhalb der Hör- und Wahrnehmungsgrenzen liegen, können nach heutigem Stand der Wissenschaft Windkraftanlagen beim Menschen keine schädlichen Infraschallwirkungen hervorrufen.

Gesundheitliche Wirkungen von Infraschall (< 20 Hertz) sind erst in solchen Fällen nachgewiesen, in denen die Hör- und Wahrnehmbarkeitsschwelle überschritten wurde. Nachgewiesene Wirkungen von Infraschall unterhalb dieser Schwellen liegen nicht vor.

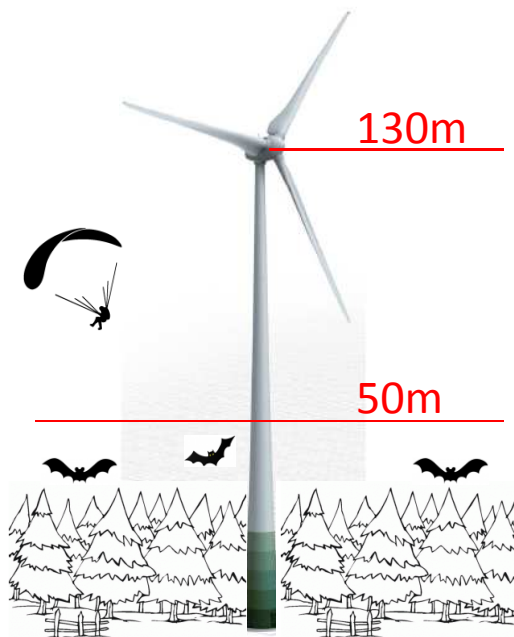
# Auerhahn



Scheu, aber kein erwiesener Windradgegner: der Auerhahn FOTO: DPA

- Nicht vom Aussterben bedroht
  - Wird in anderen Ländern bejagt
  - Lebensraum Skandinavien und Taiga
  - dort ca. 1 Million Brutpaare
  - Schwarzwald: ca. 600 Exemplare
  - Rückläufig wg. Klimaveränderung
- 
- Blauen => letztes Brutvorkommen 1987
    - => isoliert von anderen Populationsstandorten
    - => sehr umtriebig bez. Tourismus
  - Störung? => keine wissenschaftliche Untersuchung
    - => auch unter Windrädern lebt Auerwild

# Fledermaus



- Fliegt überwiegend in warmen, windarmen Nächten
- Flughöhe zwischen 10 und max. 50 m
- Umfangreiche Untersuchungen (BUND, RP Freiburg)
- Abschaltung des Windrades bei bestimmten, ohnehin ertragsarmen, Wetterverhältnissen
- Überwachung mittels „Batcorder“

# Das kleine Windrad - 1x1

Das waren Auszüge aus einem Vortrag  
unseres Vereinsmitgliedes Ralf Lacher.

Auf Wunsch ist der Autor gerne bereit, vor einem  
interessierten Publikum den gesamten Vortrag zu  
präsentieren.

Anfragen bitte an: [info@buergervindrad-blauen.de](mailto:info@buergervindrad-blauen.de)

