

# Wir stellen uns dem Klimawandel

Windkraftanlagen:  
Warum sehen die  
alle gleich aus?

<https://www.windenergie.de/themen/anlagentechnik/>

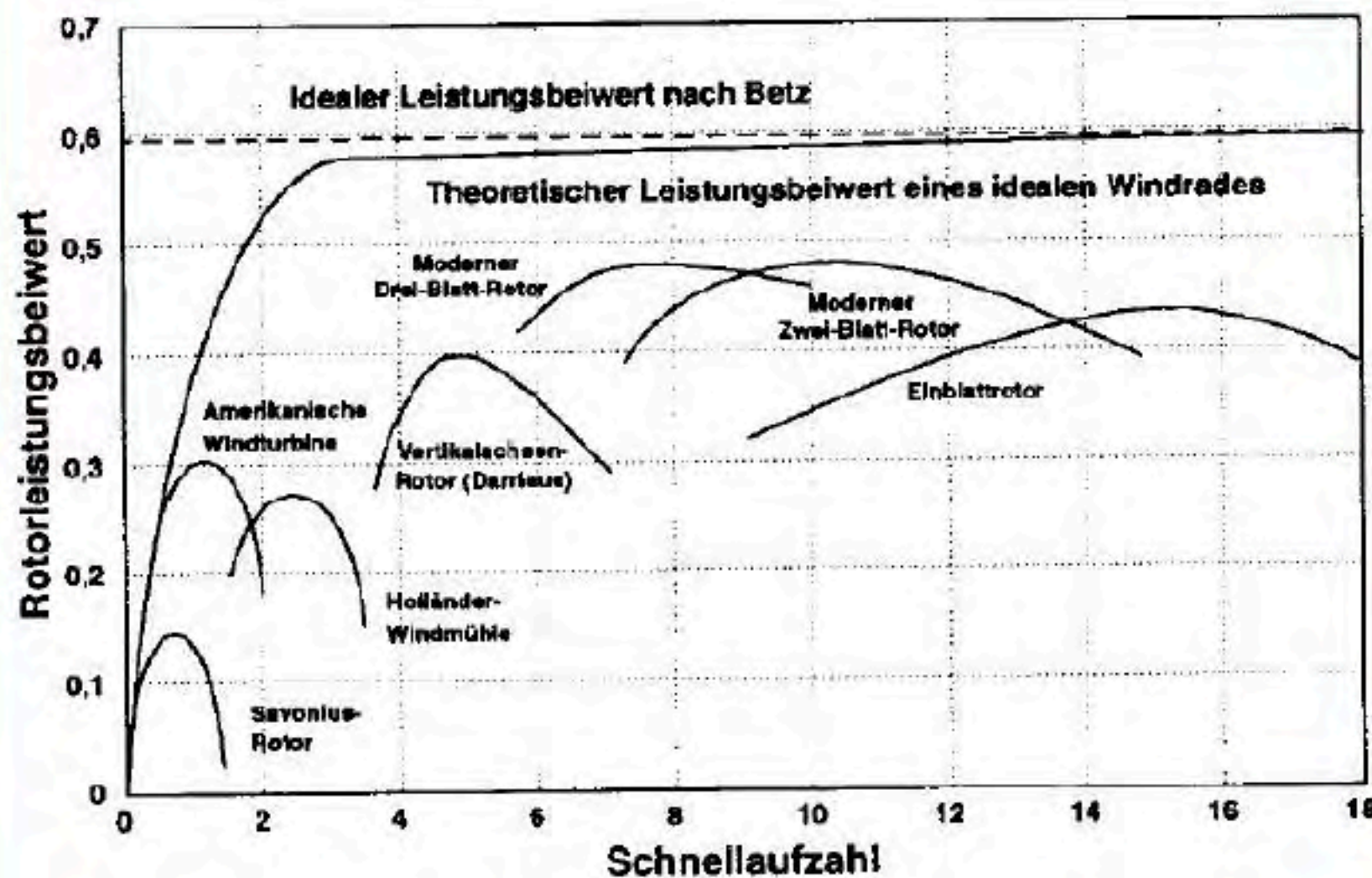


Abb. 35:  $c_p(\lambda)$ -Kennlinien von Windkraftanlagen [25, S.250]

Es hat sich herausgestellt, dass der Dreiblattrotor ( $\lambda=6$ ) für die häufigsten Windverhältnisse optimal ist.

Sie sind wirtschaftlich zu betreiben ab durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten  $\geq 4 \text{ m/s}$



Der Jade-Windpark mit den MBB Monopectos-50 und dem Aedus II im Frühling 1997. Foto: A. Jaeger

Growian

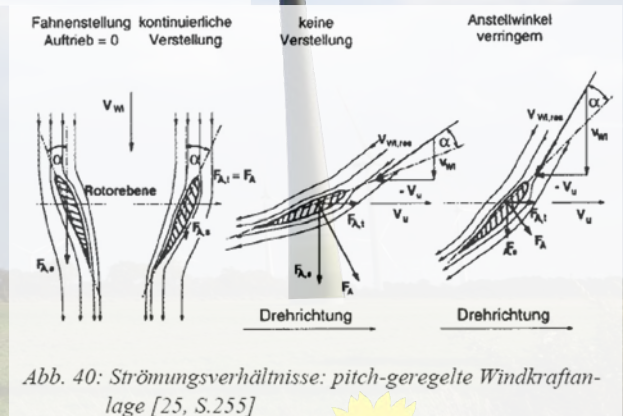


# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraftanlagen: Warum sehen die alle gleich aus?

Die übliche Bauform ist :

- Dreiblattrotor (horizontale Achse)
- Luv-Läufer (Rotorkreis vor dem Mast)
- Aktive Windnachführung
- Leistungsregelung (Begrenzung) über „Stall-“ (abwürgen) Regelung (Verwirbelung, Störung der laminaren Strömung durch Drehzahl-Anpassung)
- oder „Pitch“- Regelung (Anpassung des Anstellwinkel der Blätter)



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraftanlagen: Warum sehen die alle gleich aus?

Die Nennleistung einer WKA ist definiert durch die Wahl des Generator (z.B. 1 MegaWatt) und definiert damit die maximale Leistungsabgabe.

### Betriebsphasen:

- **Phase I:**  
Anlauf
- **Phase II:**  
unterhalb der Nennleistung wird mit optimalen Leistungskennzahlen der WKA gefahren
- **Phase III:**  
oberhalb der Nennleistung wird die Leistungsabgabe durch die Leistungsregelung auf die Nennleistung begrenzt.
- **Phase IV:**  
Sicherheitsabschaltung

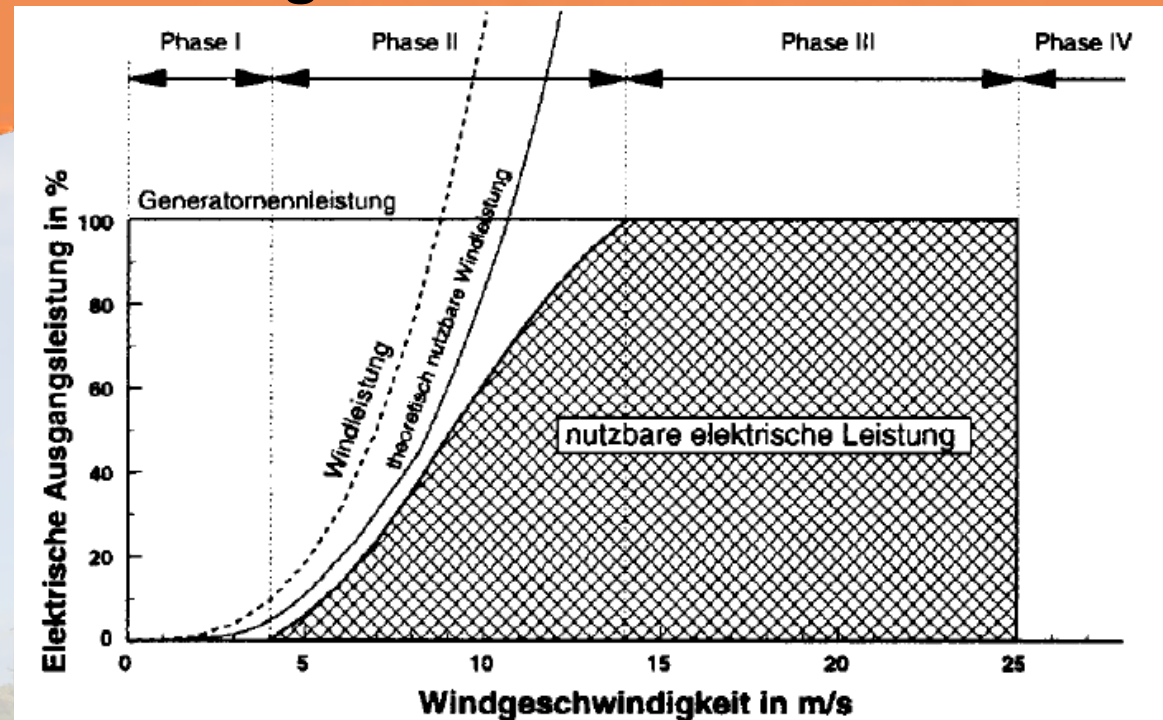


Abb. 36: Leistungskennlinie [25, S.251]

# Wir stellen uns dem Klimawandel

Der Wirkungsgrad ist begrenzt durch :

Die im Wind enthaltene Gesamtenergie = 100 %

dem theoretisch zu erreichenden Leistungsbeiwert = 59,3 %

dem tatsächlichen Leistungsbeiwert = 47 %

Getriebeverluste (2 – 5 %) = 45 %

Generatorverluste (2 – 10 %) = 39 %

Blattverstellung (2 %) = 37 %

Windnachführung (2%) = 35 %

Transformatorverluste (2%) = 33 %

... gängige WKA's erreichen Wirkungsgrade von 30 bis zu 45 %

# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windverhältnisse in Bodennähe.

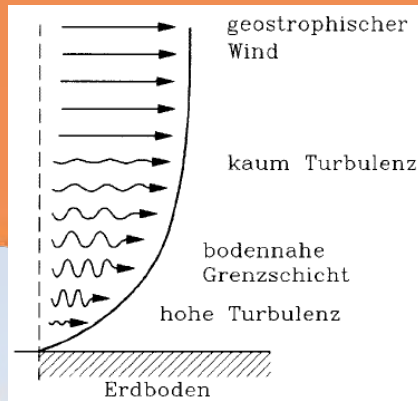


Abb. 50: Bodengrenzschicht [15, S.100]

$$v_2 = v_1 \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha$$

$v_2$  m  
 $v_1$  B  
 $h_1$  R  
 $\alpha$  H

Darum werden WKA an Land immer höher (Nabenhöhe)  
Darum sind sie auf See relativ klein  
Unter anderem darum gibt es in keine Windkraft in Städten

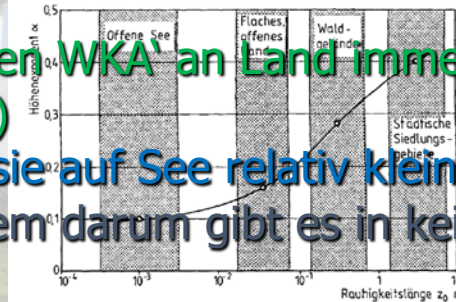


Abb. 52: Hellmann-Exponent für unterschiedliche Geländeformen [17, S.484]

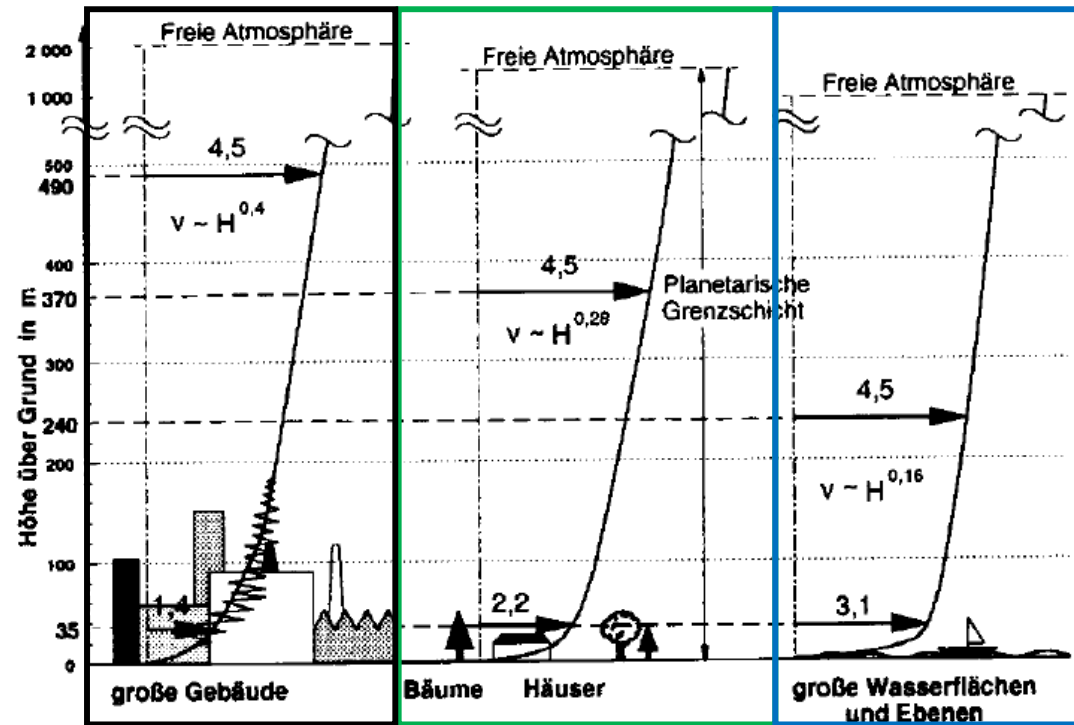
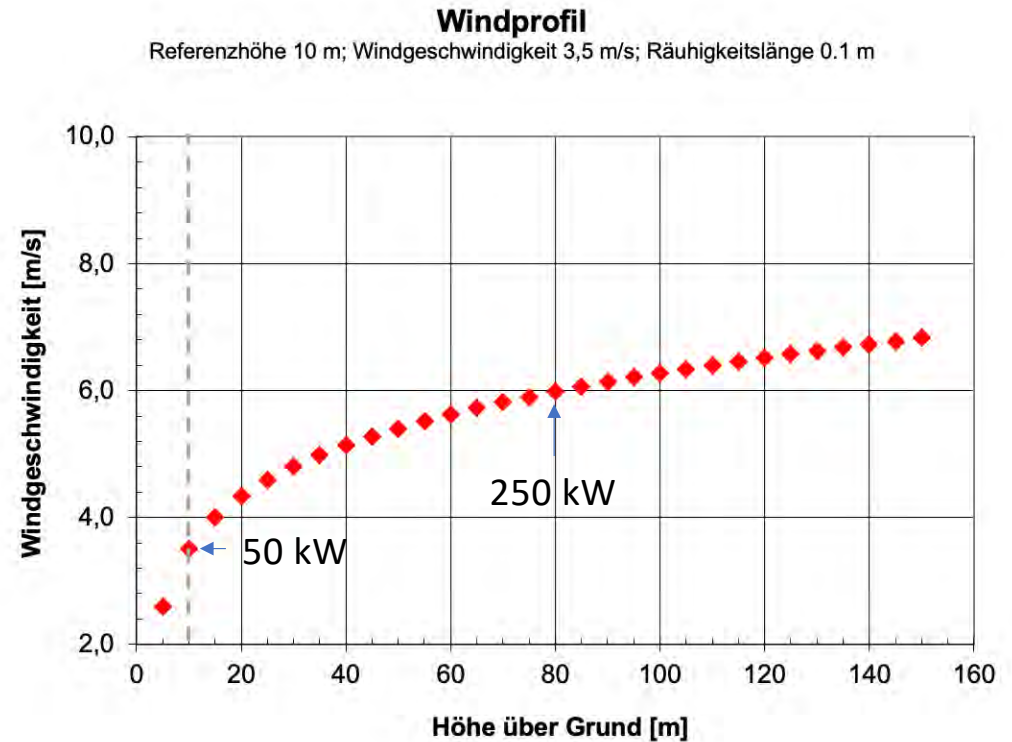
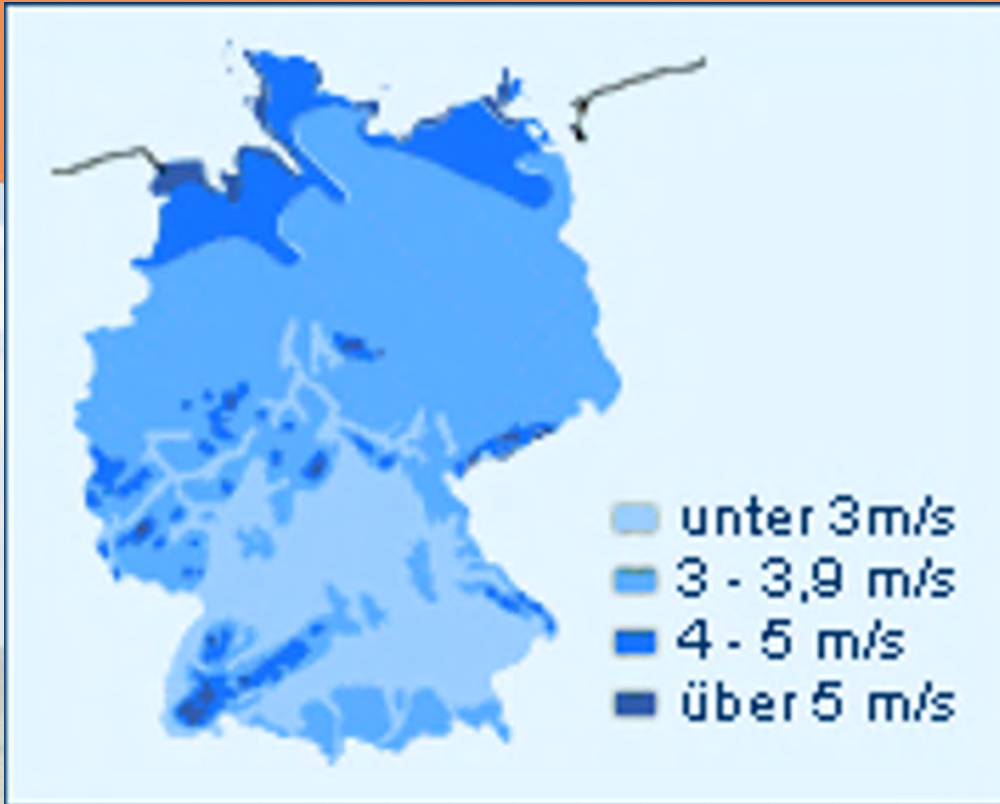


Abb. 51: Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit [25, S.60]

# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Geographische Windverhältnisse / Windverteilung



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Zeitliche Windverhältnisse / Windverteilung

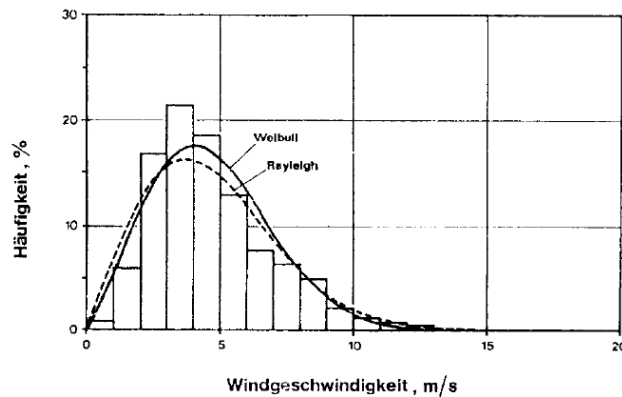
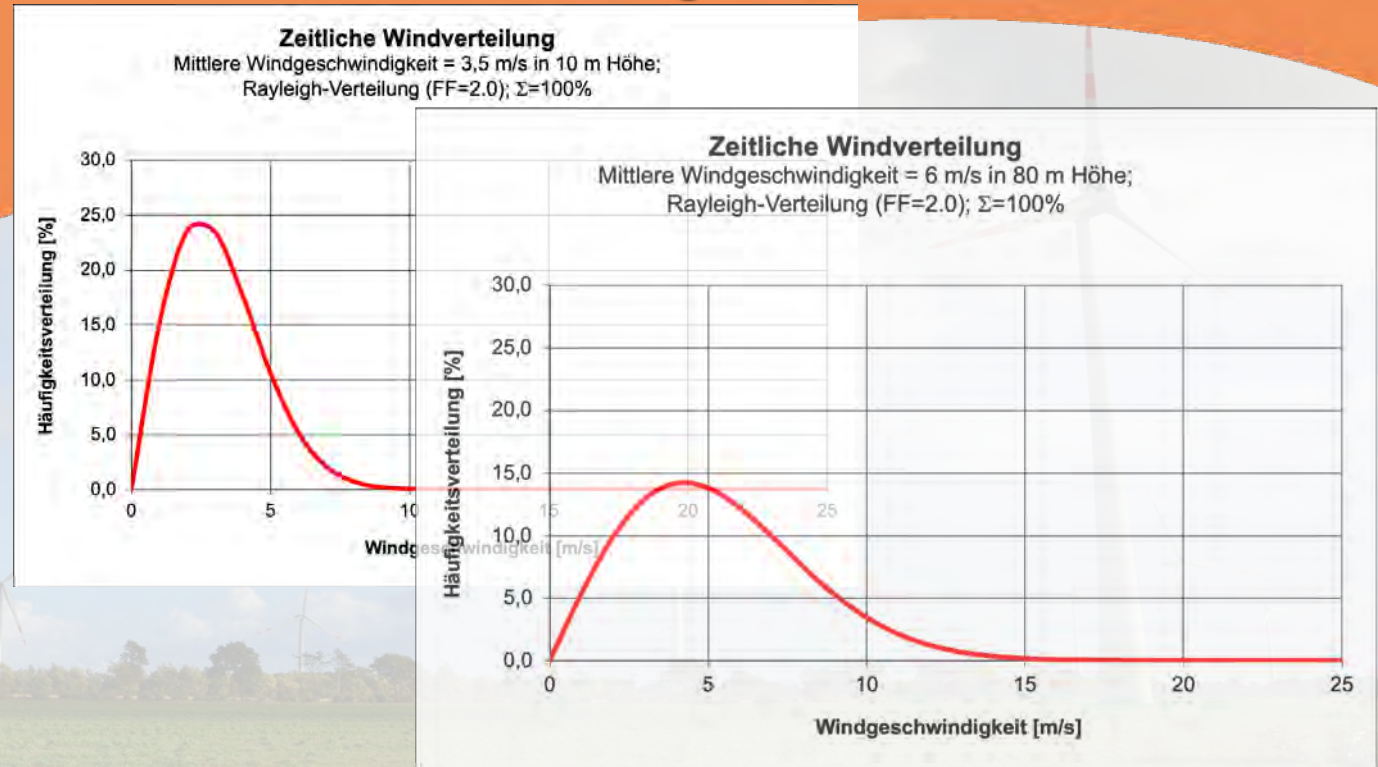


Abb. 75: Häufigkeitsverteilung [34, S.4]



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Jahresenergiebilanz @3,5 m/s



	Geschwindigkeitsklasse	Häufigkeit	Jahreswind-Energie verfügbar	Jahreswind-Energie theoretisch nutzbar	Jahresenergie tatsächliche Nutzung	Acc. Häufigkeit	Acc. Energie	Nutz-Energie	Verlust-Energie
	[m/s]	[%]	[kWh/Geschw. Klasse]	[kWh/Geschw. Klasse]	[kWh/Geschw. Klasse]	[%]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Phase I	0	0,0	0	0	0	62	37.468	0	37.468
	1	15,0	1.682	673	0				
	2	23,6	21.069	8.428	0				
	3	23,5	70.917	28.367	0				
Phase II	4	17,7	126.573	50.629	50.629	37	217.395	217.395	0
	5	10,6	148.220	59.288	59.288				
	6	5,2	125.214	50.086	50.086				
	7	2,1	80.270	32.108	32.108				
	8	0,7	40.247	16.099	16.099				
	9	0,2	16.093	6.437	6.437				
	10	0,0	5.201	2.080	2.080				
	11	0,0	1.371	549	549				
	12	0,0	297	119	119				
	13	0,0	53	21	19				
Phase III	14	0,0	8	3	0	0	25	21	3
	15	0,0	1	0	0				
	16	0,0	0	0	0				
	17	0,0	0	0	0				
	18	0,0	0	0	0				
	19	0,0	0	0	0				
	20	0,0	0	0	0				
	21	0,0	0	0	0				
	22	0,0	0	0	0				
	23	0,0	0	0	0				
	24	0,0	0	0	0				
	25	0,0	0	0	0				
	Phase IV	26	0,0	0	0				
27		0,0	0	0	0				
28		0,0	0	0	0				
29		0,0	0	0	0				
30		0,0	0	0	0				
31		0,0	0	0	0				
32		0,0	0	0	0				

**Das ist eine Fehlplanung**

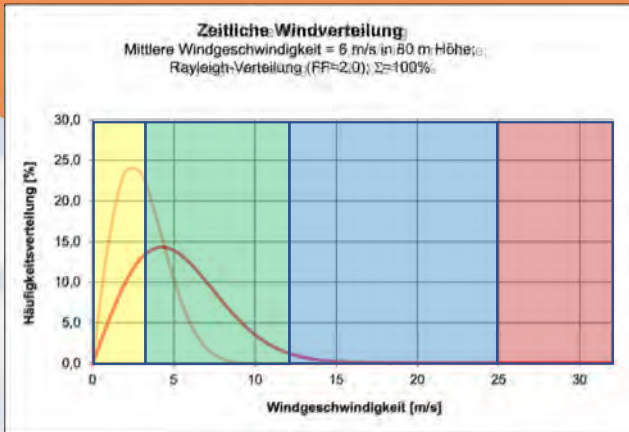
Es ist mit einem Jahresertrag von ca. 0,22 MW/h zu rechnen.

Die Nennleistung einer derart dimensionierten WKA wird nur in Ausnahmefällen überhaupt erreicht.



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Jahresenergiebilanz @3,5 -> 6 m/s



	Geschwindigkeitsklasse	Häufigkeit	Jahreswind-Energie verfügbar	Jahreswind-Energie theoretisch nutzbar	Jahresenergie tatsächliche Nutzung	Acc. Häufigkeit	Acc. Energie	Nutz-Energie	Verlust-Energie
	[m/s]	[%]	[kWh/Geschw. Klasse]	[kWh/Geschw. Klasse]	[kWh/Geschw. Klasse]	[%]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]
Phase I	0	0,0	0	0	0	28	19.472	0	19.472
	1	5,4	604	242	0				
	2	9,9	8.893	3.557	0				
	3	13,0	39.182	15.673	0				
Phase II	4	14,2	101.952	40.781	40.781	69	1.108.554	1.108.554	0
	5	13,9	193.848	77.539	77.539				
	6	12,3	296.132	118.453	118.453				
	7	10,0	382.335	152.934	152.934				
	8	7,5	429.987	171.995	171.995				
	9	5,3	429.519	171.808	171.808				
	10	3,5	386.190	154.478	154.478				
	11	2,1	315.525	126.210	126.210				
	12	1,2	235.897	94.359	94.359				
	Phase III	13	0,7	162.247	64.899				
14		0,3	103.085	41.234	29.435				
15		0,2	60.701	24.281	14.092				
16		0,1	33.215	13.286	6.354				
17		0,0	16.926	6.770	2.699				
18		0,0	8.047	3.219	1.081				
19		0,0	3.574	1.430	408				
20		0,0	1.485	594	145				
21		0,0	578	231	49				
22		0,0	211	84	16				
Phase IV	23	0,0	72	29	5	0	1	0	1
	24	0,0	23	9	1				
	25	0,0	7	3	0				
	26	0,0	2	1	0				
	27	0,0	1	0	0				
	28	0,0	0	0	0				
	29	0,0	0	0	0				
	30	0,0	0	0	0				
	31	0,0	0	0	0				
	32	0,0	0	0	0				

**Der Jahresertrag erhöht sich von 0,22 auf ca. 1,2 MW/h.**

Bei Nennleistung einer derart Dimensionierten WKA wird ca. 10% der Jahresenergie produziert

# Wir stellen uns dem Klimawandel

Deutscher Wetterdienst  
Abteilung Klima- und Umweltberatung



## Windkraftnutzungseignung

Fünfjahresertrag  
schlecht

2591 kWh/m<sup>2</sup> Rotorfl.  
mäßig

4320 kWh/m<sup>2</sup> Rotorfl.  
gut

Windkraftnutzungseignung  
gemäß Referenzertragskriterium nach EEG  
- 80m über Grund -  
in der Bundesrepublik Deutschland

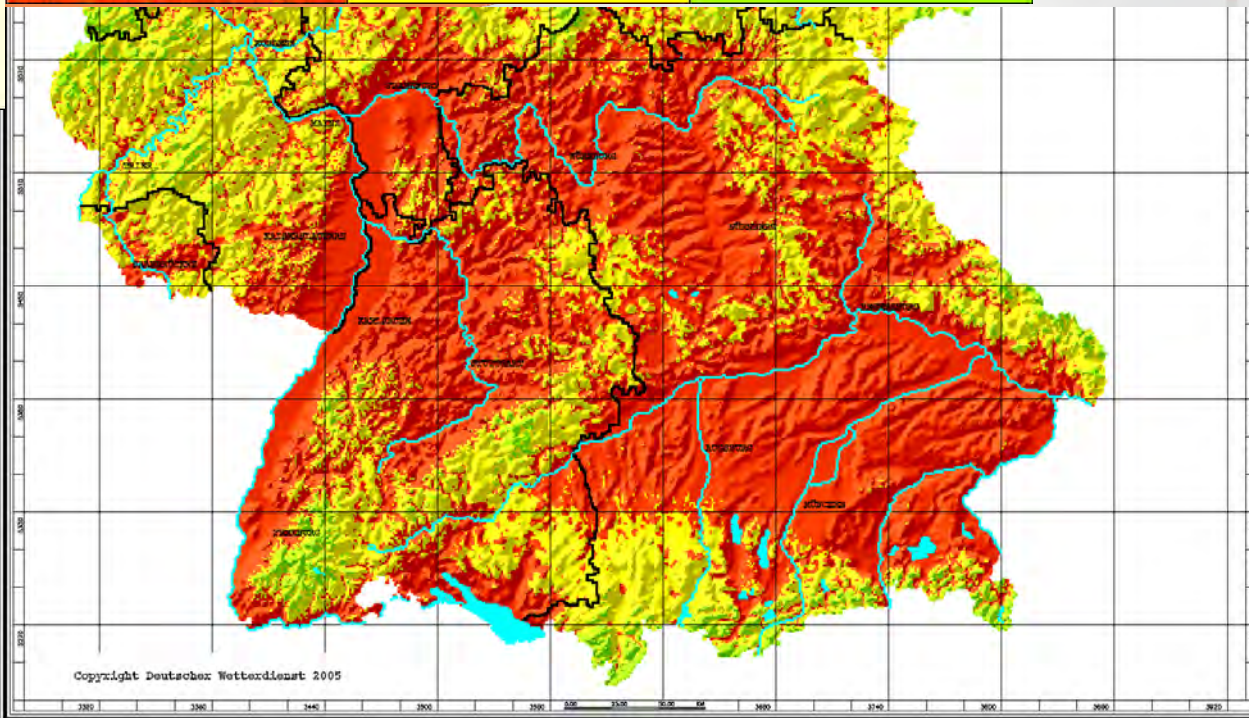
Statistisches Windfeldmodell (SWM)

Bezugszeitraum: 1981 bis 2000

Maßstab 1 : 2 500 000

Landesgrenzen: schwarz, Gewässer: blau

Ertrag kleiner als 60% des Referenzertrages	Referenzwind=6.4 m/s	Ertrag größer als 100% des Referenzertrages
--	----------------------	--



**AKNW** Arbeitskreis  
Nachhaltiges Windach



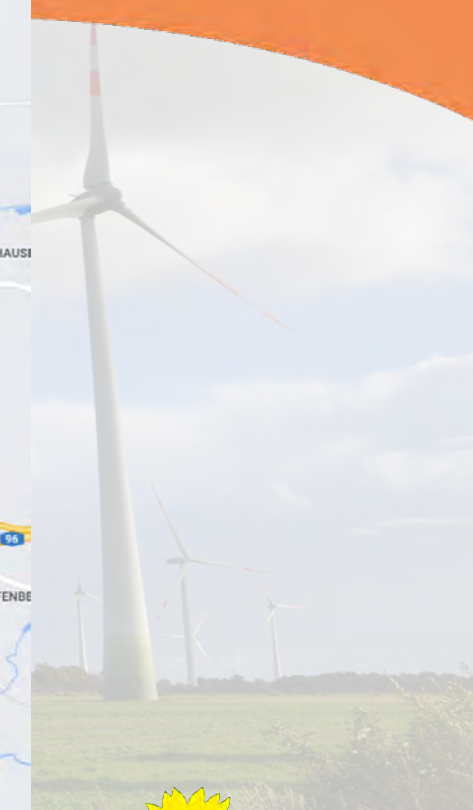
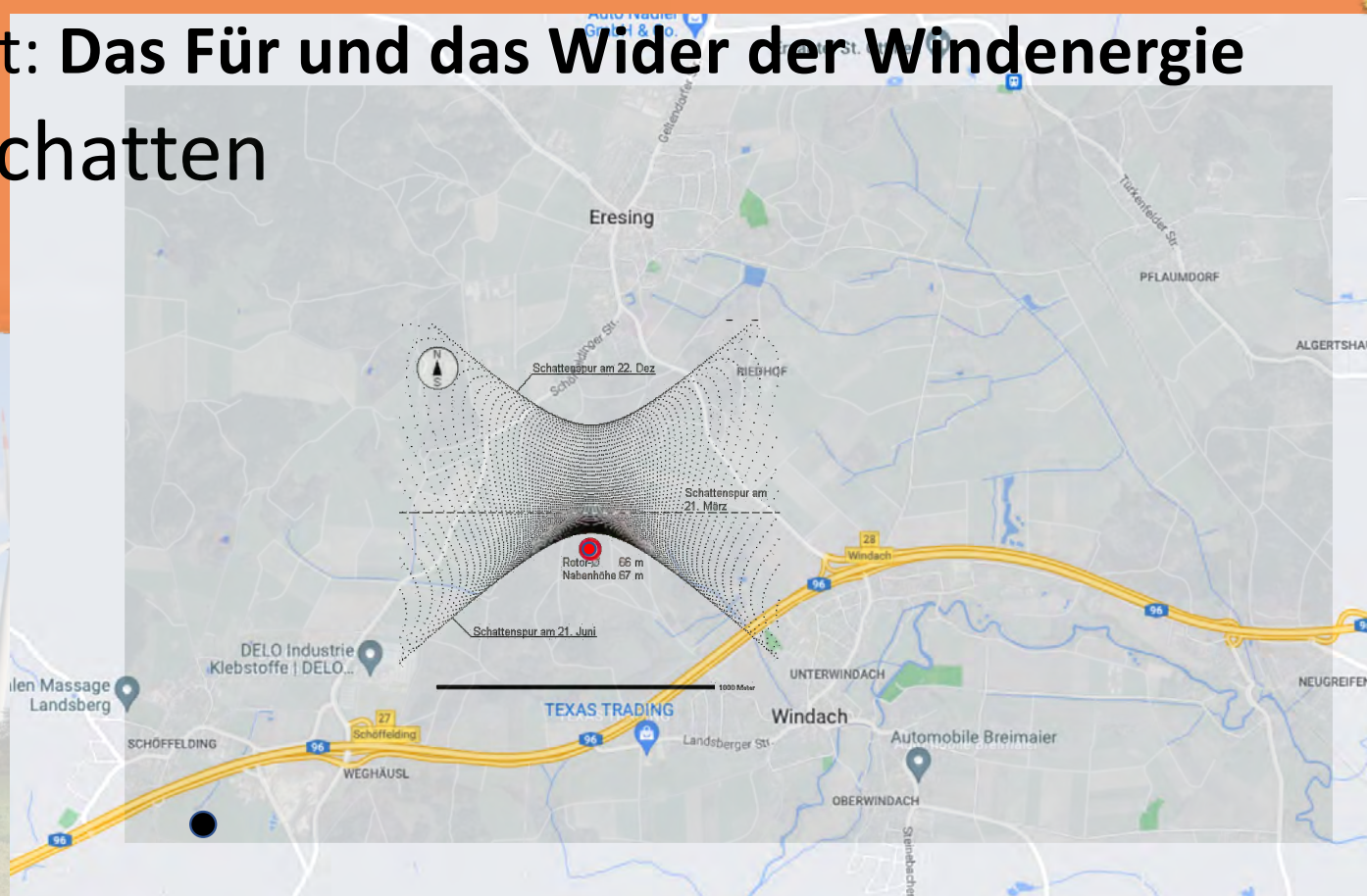
# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraftanlagen: Zahlen Daten Fakten (ZDF)

- **energetische Amortisationszeit Windkraftanlagen:** 4 bis 7 Monate
- **Anteil Windenergie am Strommarkt Deutschland:** 25,3% (2021)
- **Windkraftanlagen kleiner 10 Meter sind nicht genehmigungspflichtig.**  
<https://www.klein-windkraftanlagen.com/basisinfo/genehmigung-rechtliche-grundlagen/>  
Artikel 57 (1) 3b, Bayerische Bauordnung
- **Typische Windkraftanlagen haben heute Leistungen zwischen 1 und 6 MW**
- **Größte Windkraftanlage heute: China mit 252 Meter Rotordurchmesser. 13,6 MW**
- **Windkraft passt viel besser zu den saisonalen Bedarfszeiten als PV**
- **Windkraft ist perfekt geeignet für Power-to-Gas um Überkapazitäten zu speichern**
- **Windkraft ist perfekt geeignet für dezentrale Batteriespeicherung**

# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraft: Das Für und das Wider der Windenergie Schlagschatten



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraft: Das Für und das Wider der Windenergie Schlagschatten

- **Rechtlich** hat man **30 Minuten Schlagschatten pro Tag (30 Stunden pro Jahr)** zu akzeptieren.
- vom Schlagschatten betroffen ist nur, **wer im Schattenkorridor wohnt.**
- **Wie lange** man „täglich“ betroffen ist hängt vom Abstand seines Wohnorts von der WKA ab

**Die Sonne wandert mit ca.  $\frac{1}{4}^\circ$  pro Minute über den Himmel.**

->  $4,5[^\circ] / \frac{1}{4}[^\circ/\text{Minute}] = 18$  [Minuten pro Tag @ 5H]

**Der Sonnenzenitwinkel steigt / fällt um ca.  $\frac{1}{4}^\circ$  pro Tag**

->  $4,5[^\circ] / \frac{1}{4}[^\circ/\text{Minute}] = 18 \times 2$  [Tage pro Jahr @ 5H]

->  $18 \times 18 \times 2 = 648$  Minuten / 60 = **10,8** [Stunden / Jahr @ 5H]

- **Ist ihre Wohnlage in Richtung Sichtlinie ausgerichtet?**
- **Wann trifft Sie der Schlagschatten (Sonnenauf- und -Untergang)?**
- **Und nur bei Sonnenschein.**



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraft: Das Für und das Wider der Windenergie

### Infraschall

- Schall (Luftschall) sind Gas- / Luft-Druckschwankungen
- Körperschall sind Druckschwankungen in Festkörpern
- Menschen empfinden / hören Luftdruckschwankungen beginnend bei ca. 20 Hz bis ca. 14 oder 18 kHz.  
Alles andere können wir nicht „hören“ **PUNKT**
- **Infraschall ist alles unterhalb von 20 Hz.**  
Dieser kann als Luftschall oder Körperschall übertragen werden.
- **Es gibt unzählige Quellen für Infraschall (Wind, Straßenverkehr, Waschmaschinen, etc.)**
- **Infraschall kann z.B. bei 12 Hz erst ab einem Schall-Pegel von 90dB wahrgenommen werden (bei 32 Hz ab 30 dB) siehe DIN 45680.**
- **Moderne WKA's erzeugen einen Infraschallpegel von 30 – 40 dB in 300 bis 400 m Abstand und sind damit deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle.**



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraft: Das Für und das Wider der Windenergie Von Eulen und Nachtigallen

- **Windkraftanlagen können kaum von Privatpersonen errichtet werden.**  
Ausnahme: Kleinstanlagen bis 10 m.
- **Dafür braucht es Investoren mit einem langen finanziellen Atem.**
- **Wovon hängt die Akzeptanz von Windkraftanlagen ab?**
  - bei wirtschaftlicher Teilhabe : **Akzeptanz**
  - bei wirtschaftlicher Ausgrenzung: **Ablehnung.**

Beispiel **Ellhöft** (<https://windpark-ellhoeft.de/weitere-parks/>)

Beispiel **Lichtenau** (<https://www.paderborner-land.de/deu/entdecken/standorte/windpark-lichtenau-asseln.php>)

Beispiel **Borchen** (<https://www.youtube.com/watch?v=6URMSMrEOT0>)

Beispiel **Fuchstal** (<http://www.bwk-fuchstal.de>)



# Wir stellen uns dem Klimawandel

## Windkraft: Das Für und das Wider der Windenergie

### Rahmenbedingungen

- Ohne „versachlichten“ Interessenausgleich gibt es keine Energiewende (bei der Windenergie)
- Akzeptanz ergibt sich praktisch ausschließlich aus wirtschaftlichen Interessen.  
.. ggf. ergänzt um Abschaltvorrichtungen
- Mögliche Formen der Bürgerbeteiligung sind:
  - Investmentfonds
  - Direktinvestment bei Betreibern
  - Bürgerwindparks
  - Genossenschaftliche Beteiligungen, z.B. Gemeinden (Gemeindewindparks)
  - günstige Stromtarife bei gemeindlicher Organisation
  - Kleinstanlagen  $h=7,5\text{m}$ ;  $d=5\text{m}$ ;  $V=4\text{m/s} \Rightarrow 0,26\text{ kW}@35\%$ ;  $V=10\text{m/s} \Rightarrow 4,1\text{ kW}@35\%$
- Renditeerwartungen zwischen 4 und 9%

Wir stellen uns dem Klimawandel

# Windenergie

Haben Sie vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit

**AKNW** Arbeitskreis  
Nachhaltiges Windach

