



**Thomas Littmann  
DLC Consulting**

**Wieviel Strom produziert ein Windpark?  
Das Windertragsgutachten liefert Antworten**

**Sieversdorf 15.06.2024**

## Warum ein Windertragsgutachten?

Ausgangspunkt bei der Planung eines Windpark-Projektes ist die Frage, ob das Projekt über eine Lebensdauer von mindestens 25 Jahren wirtschaftlich betrieben werden kann



Ausgangspunkt bei der Planung eines Windpark-Projektes ist die Frage, ob das Projekt über eine Lebensdauer von mindestens 25 Jahren wirtschaftlich betrieben werden kann

### **Kosten**

WEA-Kosten  
Baukosten  
Planungskosten  
Pacht  
Finanzierungskosten  
...

### **Erlöse**

Vergütung nach EEG  
Verkaufserlöse durch PPA/Direkt-  
vermarktung

Kosten und Erlöse lassen sich recht gut vorkalkulieren....

Ausgangspunkt bei der Planung eines Windpark-Projektes ist die Frage, ob das Projekt über eine Lebensdauer von mindestens 25 Jahren wirtschaftlich betrieben werden kann

### Kosten

WEA-Kosten  
Baukosten  
Planungskosten  
Pacht  
Finanzierungskosten  
...

### Erlöse

Vergütung nach EEG  
Verkaufserlöse durch PPA/Direktvermarktung

**Stromproduktion über 25 Jahre**

Die entscheidende Unbekannte in den Berechnungen ist die zu erwartende, mittlere jährliche Stromproduktion des Windparks. Diese Prognose wird für die Projektfinanzierung verlangt und in einem Windertragsgutachten ermittelt

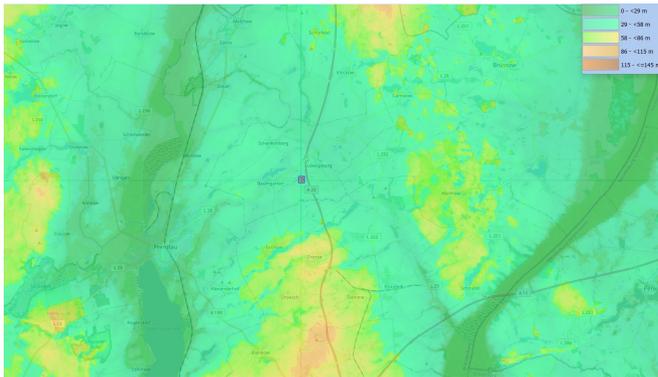
## Wie entsteht eine Windertragsprognose? – Schritt 1

Das Verfahren für Windertragsgutachten ist in Deutschland weitgehend standardisiert und muss nach einer technischen Richtlinie (TR 6) der FGW durchgeführt werden

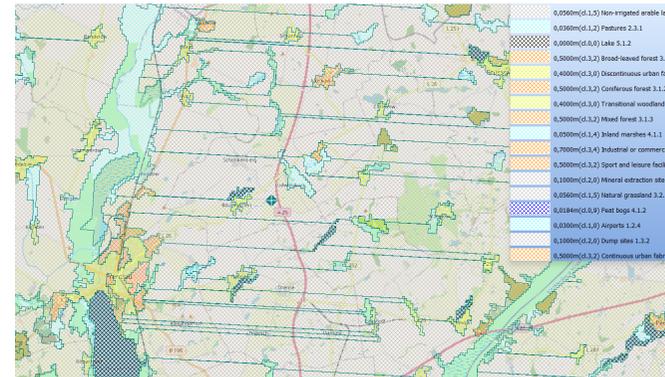
Schritt 1: Bestimmung der mittleren langjährigen Windverhältnisse am Standort in der Nabenhöhe der geplanten Anlagen. Da der Wind in Bodennähe vom Gelände und der Landnutzung beeinflusst wird, benötigen wir

# Wie entsteht eine Windertragsprognose? – Schritt 1

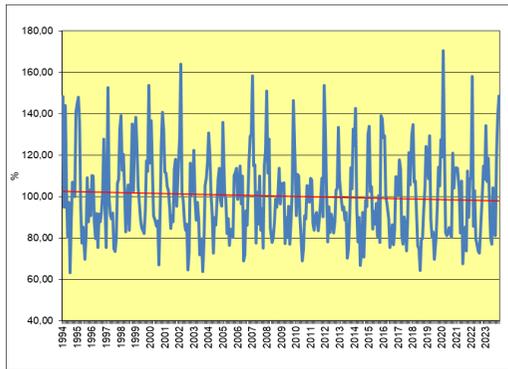
Ein digitales Geländemodell



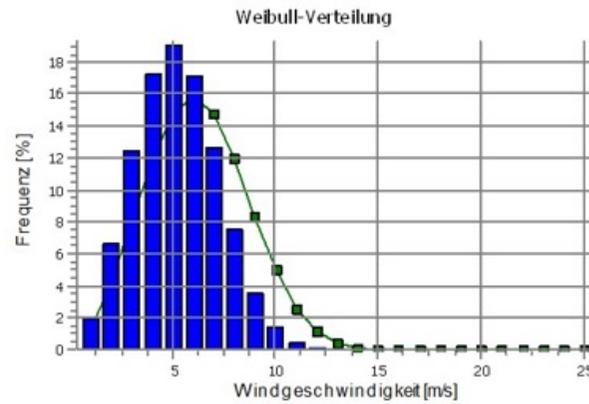
Ein Rauigkeits-Modell (Landnutzung)



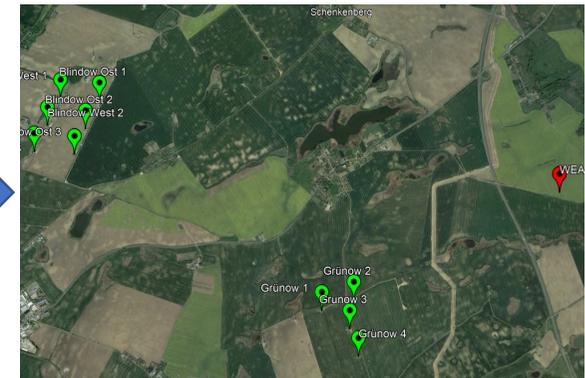
Langjährige Winddaten:  
25 Jahre Reanalysedaten (3 km-Raster)



Langjährige Windstatistik



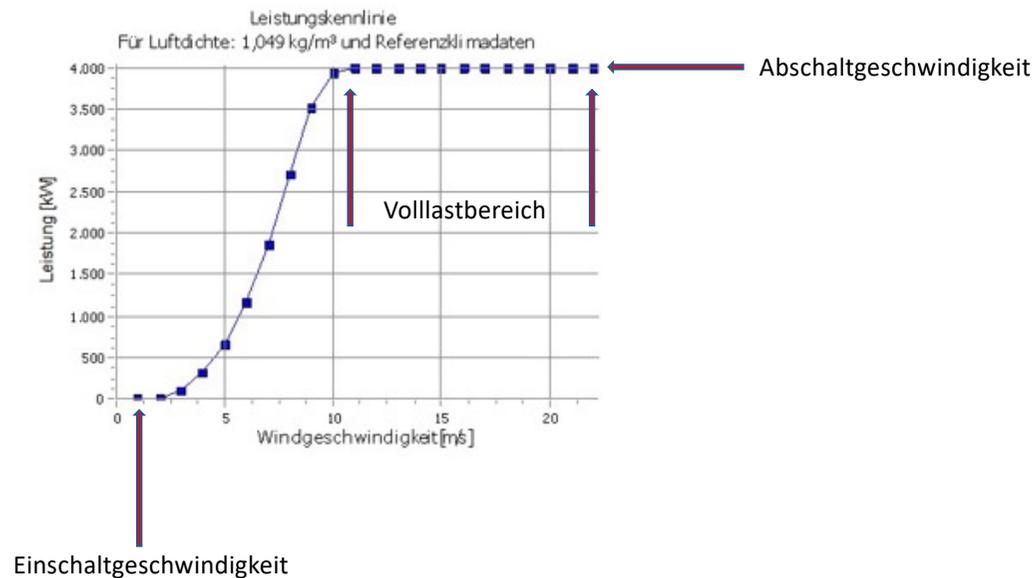
Modellabgleich mit Bestandsanlagen



## Wie entsteht eine Windertragsprognose? – Schritt 2

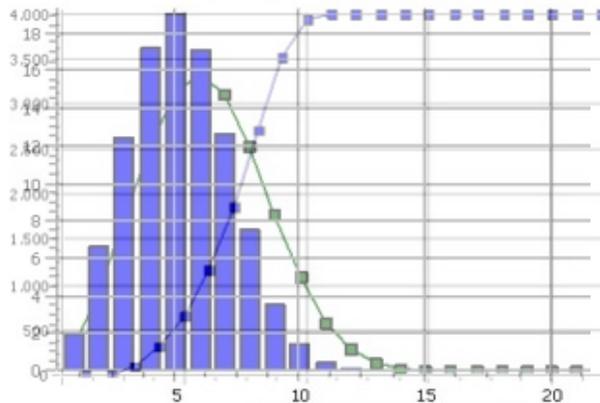
### Schritt 2: Vom Wind zur Stromproduktion

Die WEA produziert Strom in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und Luftdichte.  
Dies zeigt die Leistungskennlinie

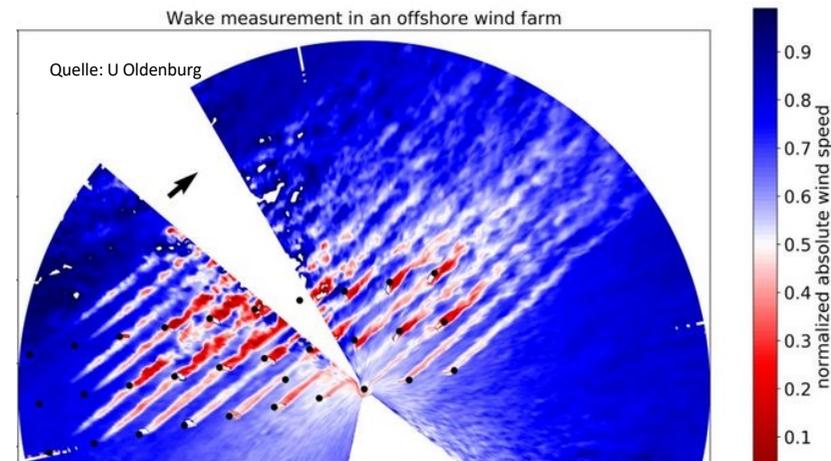


## Wie entsteht eine Windertragsprognose? – Schritt 2

Kombiniert man die Windverteilung und die Leistungskennlinie, kann für jedes Windgeschwindigkeitsintervall die Stromproduktion der WEA berechnet werden. Bei hoher Luftdichte ergibt sich mehr Leistung. Das Ergebnis ist der Bruttoertrag.



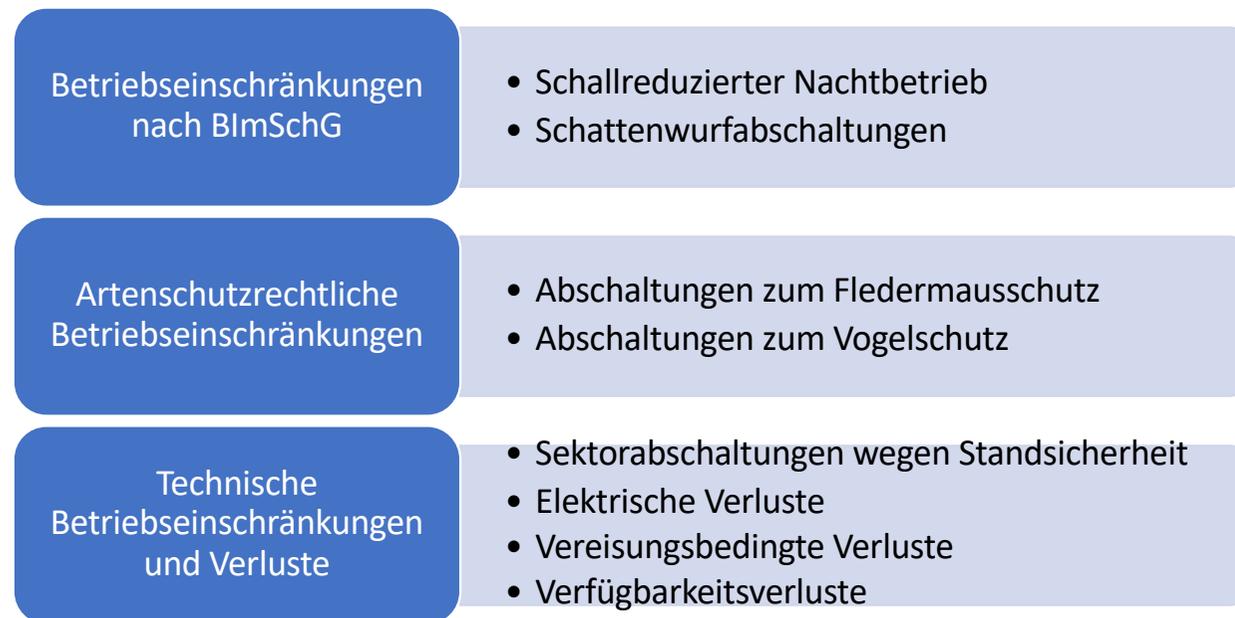
Im Windpark beeinflussen sich die WEA gegenseitig durch Rotorturbulenzen. Es ergeben sich Verluste durch Nachlauf-Strömungen. Diese werden in einem sog. Parkmodell berechnet. Das Ergebnis ist der Parkertrag.



## Wie entsteht eine Windertragsprognose? – Schritt 3

### Schritt 3: Verluste

Für den Betrieb der WEA müssen meistens weitere Verluste durch Betriebseinschränkungen ermittelt werden:



Nach Abzug aller Verluste ergibt sich der Nettoertrag, der die mittlere jährliche Stromproduktion des Windparks angibt.

Selbstverständlich sind nicht alle Jahre gleich, weil der Wind natürlichen Schwankungen unterliegt. Im Windertragsgutachten wird hierfür eine Variabilitätsanalyse durchgeführt.

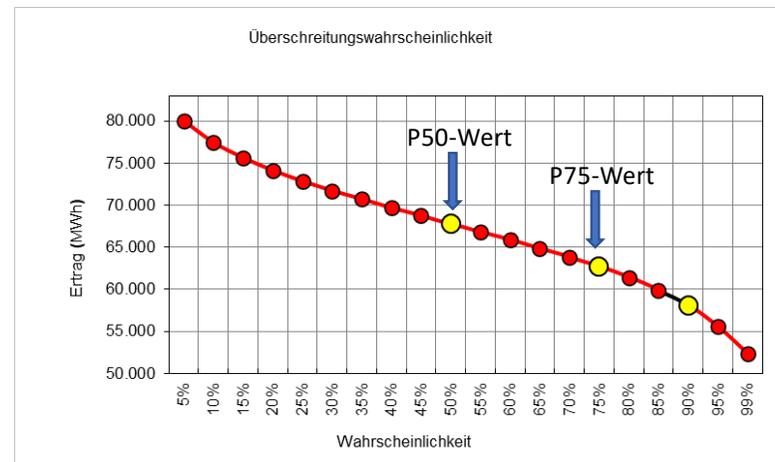
## Wie entsteht eine Windertragsprognose? – Schritt 4

### Schritt 4: Unsicherheiten der Prognose und Risikoanalyse

Für Finanzierungsentscheidungen wird oft eine Risikobewertung der Ertragsprognose verlangt. Die Gesamtunsicherheit wird mit einer statistischen Fehlerrechnung aus allen Komponenten der Ertragsberechnung bestimmt:

Bereich	Komponente	Unterkomponente	Bewertung (%)
Winddatenbasis	Windeingangsdaten	Wetterstation, Reanalysedaten, Gondelwindmessungen	0,50
		Vergleichsanlage	7,04
		Leistungskennlinie WEA	0,00
		Repräsentativität des WEA-Typs	0,00
		Daten, Detaillierungsgrad, Informationsgüte	2,43
		Ausreißereliminierung, Verfügbarkeitskorrektur	0,00
		Parkabschattung	2,58
		Langzeitkorrektur	0,04
		Repräsentativität der Langzeitdaten für den Standort	2,23
		Konsistenz der Langzeitdatenquellen	0,00
Repräsentativität Abgleichzeitraum/Methodik		0,00	
Repräsentanz des Bezugszeitraums in der Vergangenheit		0,00	
Projektion des Bezugszeitraums auf zukünftigen Betriebszeitraum		0,00	
<b>Unsicherheit Bereich Winddatenbasis</b>		<b>8,20</b>	
Modellierung Windfeld		Topographische Eingangsdaten	3,00
		Repräsentativität Windeingangsdaten	2,34
		Horizontaltransfer	0,82
		Vertikaltransfer	0,82
		<b>Unsicherheit Bereich Modellierung</b>	<b>2,61</b>
Modellierung Parkwirkungsgrad			<b>1,02</b>
Leistungskennlinie WEA		Abgeleitete Basisunsicherheit	6,59
		Standortefflüsse	0,00
		Technisches Betriebsverhalten	0,00
		<b>Unsicherheit Bereich Leistungskennlinie</b>	<b>6,59</b>
Energieverlustfaktoren		Verfügbarkeit	1,50
		Elektrische Effizienz	1,00
		Leistungsverhalten der Anlagen	0,25
		Umgebungsbedingungen	0,25
		Leistungseinschränkungen	1,46
		<b>Unsicherheit Bereich Energieverlustfaktoren</b>	<b>2,35</b>
<b>Ergebnis</b>		<b>Gesamte Standardunsicherheit</b>	<b>11,14</b>

Daraus ergeben sich Wahrscheinlichkeitswerte, ob der Prognosewert erreicht oder überschritten wird:



Der p50-Wert ist der Nettoertrag der Prognose (Wahrscheinlichkeit 50:50)  
 Der p75-Wert hat eine Wahrscheinlichkeit von 75% (wird erreicht) zu 25% (wird nicht erreicht) → geringeres Risiko, aber auch geringerer Ertrag

Vielen Dank!

**DLC**  
Dr. Littmann Consulting



**DLC**

Dr. Littmann Consulting

Leibnizstr. 33

D-58256 Ennepetal

02333-608052

[post@littmann-consulting.com](mailto:post@littmann-consulting.com)

[www.littmann-consulting.com](http://www.littmann-consulting.com)