

Wind im Binnenland –  
lohnt sich das?

Leonhard Marr  
Ertragsprognosen und Projektprüfung  
Deutsche WindGuard Consulting GmbH

- I. Windpotential und Ertragsberechnung
- II. Schwachwindanlagen
- III. Investitions- und Betriebskosten
- IV. Gesamtszenario Wirtschaftlichkeit

Wind stark abhängig von:

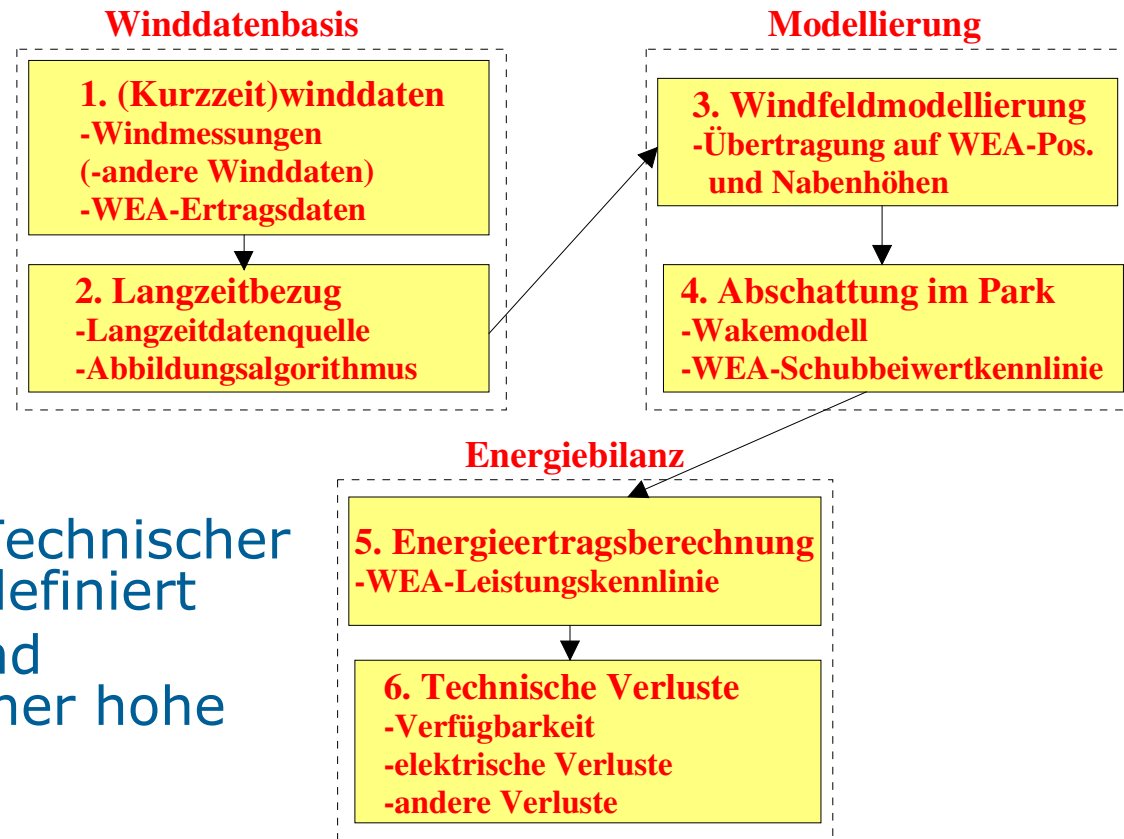
- großräumiger Orographie („Hessische Senke“)
- kleinräumiger Orographie (Kuppe, Luv oder Lee)
- Rauigkeit (Bewaldung)

- **Windatlanten** zu ungenau für Ertragsberechnung, da  
 $E = f(v^3)$

z.B. Bruttoertrag für V126-3.3MW:

v [m/s]	v [%]	E [MWh/a]	E [%]
5.25	-13%	6 497	-27%
5.50	-8%	7 307	-18%
5.75	<b>-4%</b>	8 127	<b>-9%</b>
6.00		8 948	
6.25	4%	9 764	9%

=> Windgutachten/-messung erforderlich



- Anforderungen in Technischer Richtlinie 6 (TR6) definiert
- Viele Annahmen und Rechenschritte, daher hohe Unsicherheiten

## Unsicherheiten

- Winddaten (Kalibrierung, Montage, Datenerfassung) 3%
  - Langzeitbezug 6%
  - Übertragung mit Berechnungsmodell: 5%
  - Leistungsverhalten WEA: 7%
  - Berechnung Ertragsverluste (Parkwirkung): 5%
- Gesamt ca. 12% Unsicherheit (Minimum)
- Unsicherheit bei ertragsbasierten Prognosen meist höher

## Unsicherheiten führen zu **Sicherheitsabschlägen** bei Investoren und Banken

Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit	Abweichung vom Erwartungswert [%]
95%	-29.6%
<b>90%</b>	<b>-23.1%</b>
85%	-18.7%
80%	-15.1%
<b>75%</b>	<b>-12.1%</b>
70%	-9.4%
65%	-6.9%
60%	-4.6%
55%	-2.3%
50%	0.0%

Sicherheitsabschlag bei **18 %**  
Unsicherheit

Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit	Abweichung vom Erwartungswert [%]
95%	-19.7%
<b>90%</b>	<b>-15.4%</b>
85%	-12.4%
80%	-10.1%
<b>75%</b>	<b>-8.1%</b>
70%	-6.3%
65%	-4.6%
60%	-3.0%
55%	-1.5%
50%	0.0%

Sicherheitsabschlag bei **12 %**  
Unsicherheit

## Verluste

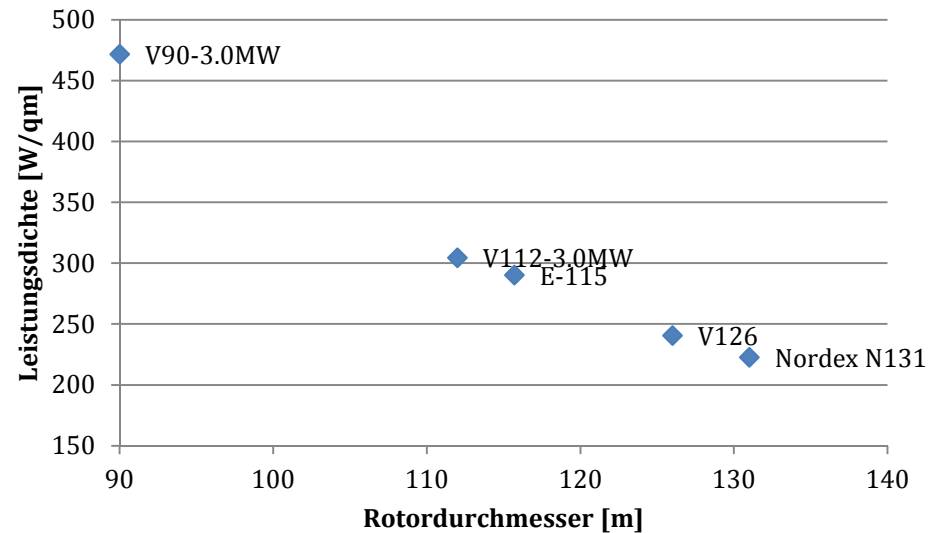
- alle Verluste müssen von den Brutto-Erträgen abgezogen werden
- Park sollte im Binnenland nicht so dicht gestellt werden wie an der Küste
- z.T. erhebliche Einbußen

Ursache	Verlust [%]
<b>Abschattungseffekt</b>	<b>5</b>
<b>Betriebseinschränkungen</b>	
- Schallreduktion	(5)
- Schattenwurf	(1)
- Artenschutz	(1)
- Wind-Sektor-Management	(1)
<b>Verfügbarkeit</b>	
- WEA Verfügbarkeit	<b>3</b>
- WEA Wartung	<b>0.5</b>
<b>elektrische Effizienz</b>	<b>3</b>
<b>Leistungsverhalten WEA</b>	
- sub-optimaler Betrieb	<b>1</b>
<b>Umgebungsbedingungen</b>	
- Leistungsdegradation mit Vereisung	?
- Abschaltung bei Vereisung	?



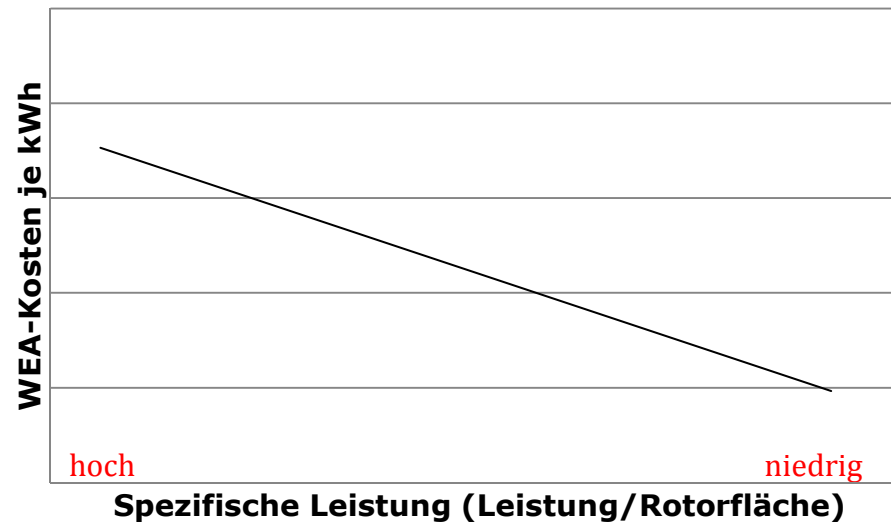
- I. Windpotential und Ertragsberechnung
- II. Schwachwindanlagen**
- III. Investitions- und Betriebskosten
- IV. Gesamtszenario Wirtschaftlichkeit

## Definition **Schachwindanlage**



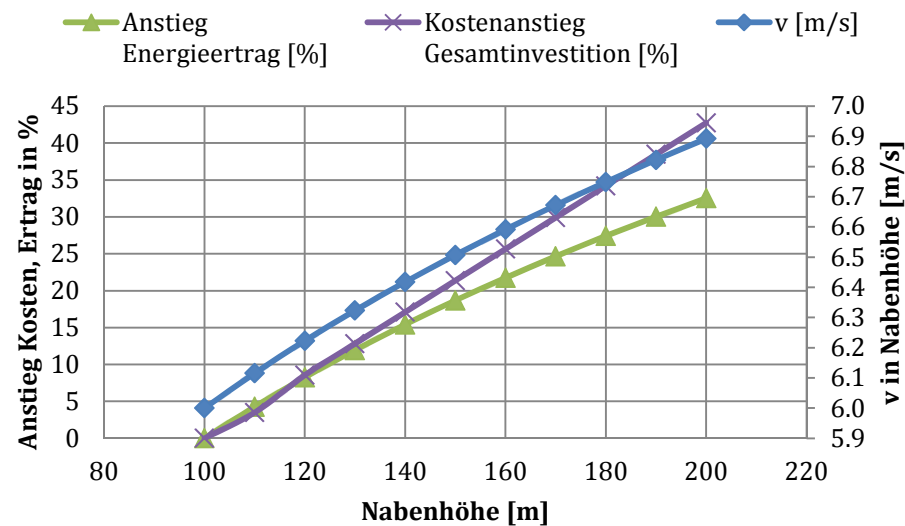
- Lastausregelung ist die technische Herausforderung für die WEA-Hersteller

## Kostensenkungspotential



- An einem Schwachwindstandort ( $v=6$  m/s in 140 m) konnte durch die Halbierung der spezifischen Leistung der spezifische WEA-Preis um ca. **20 %** gesenkt werden.

## Trend zu **großen Nabhöhen**



- Anstieg Energieertrag **größer als** Kostenanstieg bis zu bestimmten Punkt
- Abhängig von Windprofil und WEA-Auslegung: Wirtschaftlichkeit wird **nicht** an jedem Standort erreicht!

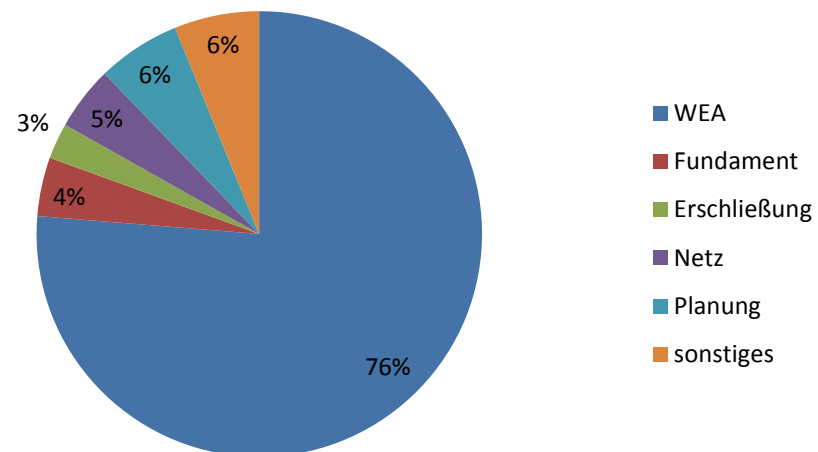
- I. Windpotential und Ertragsberechnung
- II. Schwachwindanlagen
- III. Investitions- und Betriebskosten**
- IV. Gesamtszenario Wirtschaftlichkeit

## I. Kosten

---

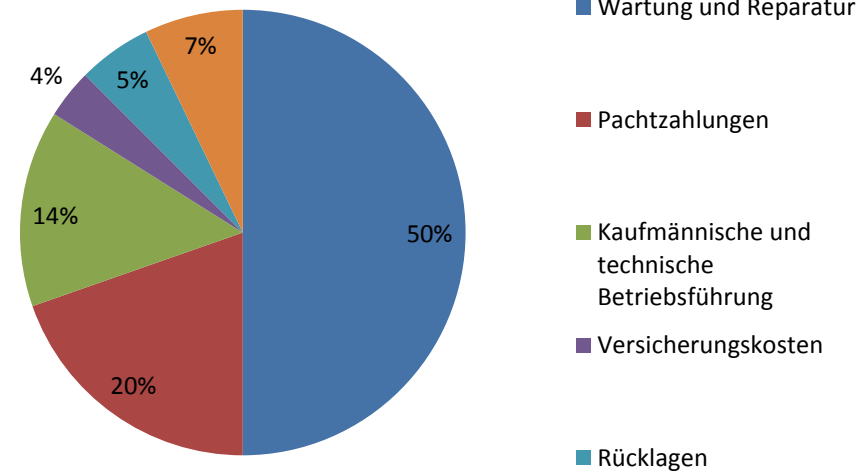
- Investitionskosten:
  - Windenergieanlage inkl. Turm
  - Fundament
  - Erschließung
  - Netzanbindung
  - Planung
- Betriebskosten:
  - Wartung und Reparatur
  - Pachtzahlungen
  - Kaufmännische und technische Betriebsführung
  - Versicherungskosten

- Investitionskosten für eine 3MW-WEA (T€):
  - Windenergieanlage inkl. Turm (3 600)
  - Fundament (200)
  - Netzanschluss (220)
  - Erschließung (125)
  - Planung (285)
  - Sonstiges (290)



Quelle: Deutsche WindGuard, 2013: Kostensituation der Windenergie an Land in Deutschland

- Betriebskosten für eine 3MW-WEA (T€/a):
  - Wartung und Reparatur (84)
  - Pachtzahlungen (33)
  - Kaufmännische und technische Betriebsführung (24)
  - Versicherungskosten (6)
  - Rücklage (9)
  - Sonstiges (12)





- I. Windpotential und Ertragsberechnung
- II. Schwachwindanlagen
- III. Investitions- und Betriebskosten
- IV. Gesamtszenario Wirtschaftlichkeit**

- Annahmen für eine WEA 3 MW [in TEuro]:
    - Invest (-5%) = 4 484
    - Betriebskosten pro Jahr (-5%) = 162
    - Inflationsrate = 2%
    - Kalk. Zinsfuß = 4%
    - Geforderte Rendite (interner Zinsfuß) = 8%
- => erforderliche jährliche Einnahmen = **620.000,-€**

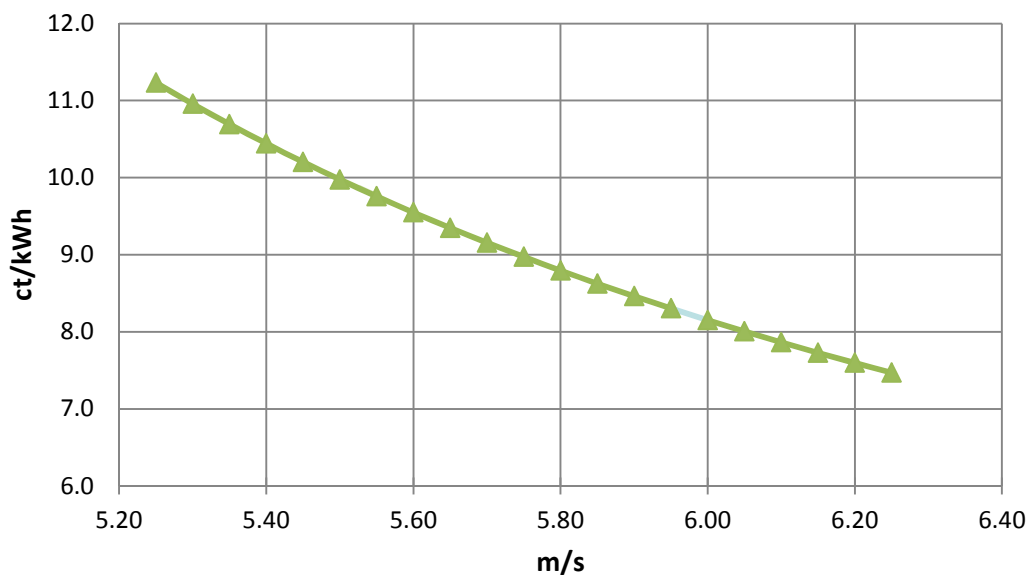
- Einziger **Erlös** besteht aus Stromverkauf

Erlös [€/a] = Stromertrag [kWh/a] x Vergütung [€/kWh]

- Stromertrag => aus Ertragsprognose ?
- Vergütung => EEG 2014 ???

➤ Erlös = ????

**Mindest**-Strompreis in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (bei 620 T€ erforderlichem Jahreserlös)



Anmerkung: 15% Abschlag (Verluste/Sicherheit) auf Bruttoertrag (V126) berücksichtigt

*DEUTSCHE*  
**WINDGUARD**

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!

Dipl. Geoökol. Leonhard Marr

[l.marr@windguard.de](mailto:l.marr@windguard.de)

04451 9515-277



Discover the full spectrum of  
the WindGuard Universe on  
[www.windguard.de](http://www.windguard.de)!