

KLEINE WINDENERGIEANLAGEN – EINE OPTION FÜR LANDWIRTE?

Eichhof, Bad Hersfeld | 23. November 2011 | Arbeitsgemeinschaft für
Rationalisierung, Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft Hessen



Fraunhofer
IWES

Paul Kühn
Katharina Henke

Fraunhofer-Institut für Windenergie
und Energiesystemtechnik IWES

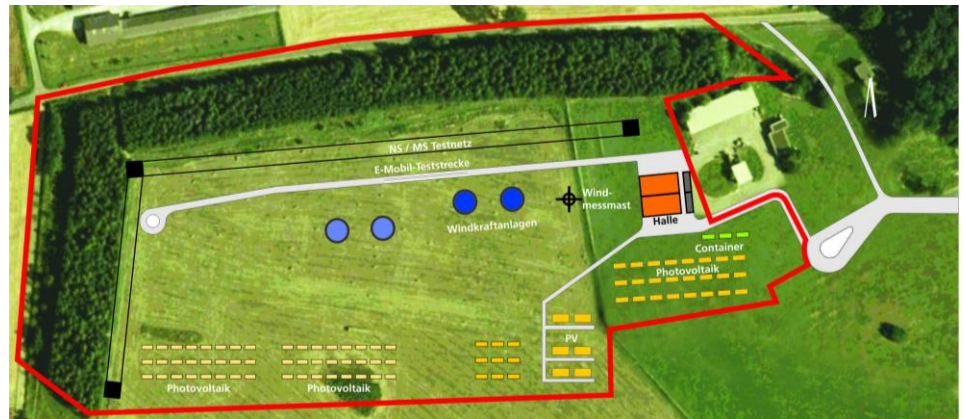
KLEINE WINDENERGIEANLAGEN – EINE OPTION FÜR LANDWIRTE?

1. Grundlagen
2. Herausforderungen bei der Projektierung
3. Ertragsabschätzung und Wirtschaftlichkeit
4. Erfahrungen aus der Praxis
5. Fazit

Fraunhofer IWES - Service und Dienstleistungen

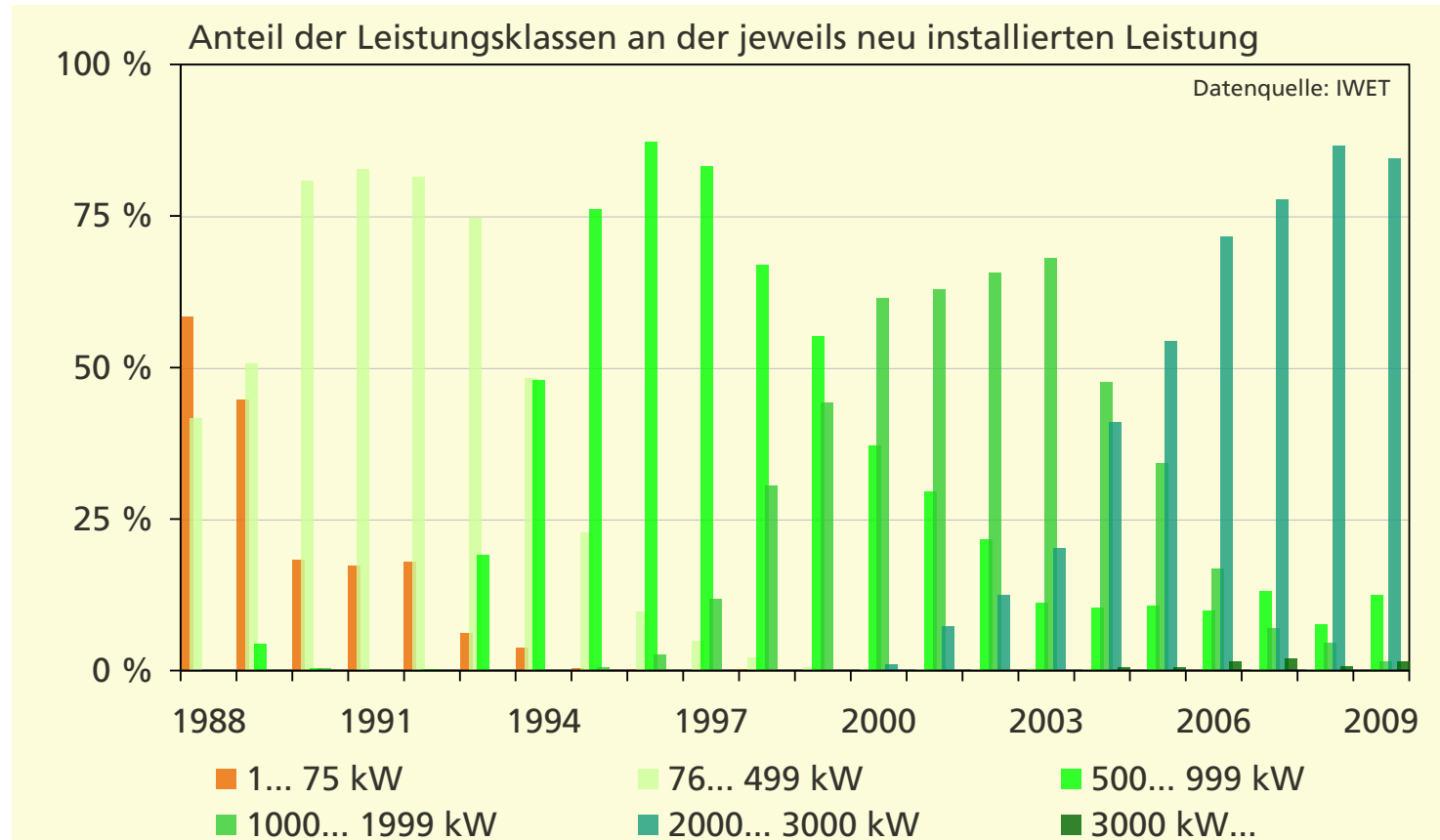
Kleine Windenergieanlagen (KWEA)

- Feldtests und Messungen
- Weiterentwicklung und Optimierung von KWEA und Systemen, u. a.
 - Systemintegration
 - Aerodynamik
 - Triebstrang
 - Komponenten
 - Simulation
- Consulting, Training und Ausbildung
- IWES-SysTec bei Kassel: Testzentrum für intelligente Netze und Elektromobilität



Entwicklung der WEA-Größe

Durchdringung des deutschen Marktes mit großen Anlagen



Kleine Windenergieanlagen (KWEA)

Anlagengröße, Nennleistung, Bauart, Anwendung...



Model	Superwind 350	Fortis Montana	Quietrevolution qr5	Hannevind 30 kW
Rotordurchmesser	1,2 m	5 m	3,1 m x 5 m	13 m
Rotorfläche	1,1 m ²	19,6 m ²	15,5 m ²	133 m ²
Nennleistung	0,35 kW	5 kW	6 kW	30 kW
Rotorachse	horizontal	horizontal	vertikal	horizontal
Generator	synchron (PMG)	synchron (PMG)	synchron (PMG)	asynchron
Turmkopfmasse	11,5 kg	230 kg	450 kg	950 kg
Anwendung	autark, mobil, Batterielader	autark oder netzeinspeisend	auf/an Gebäuden, netzeinspeisend	kommerziell, netzeinspeisend

Kleine Windenergieanlagen (KWEA)

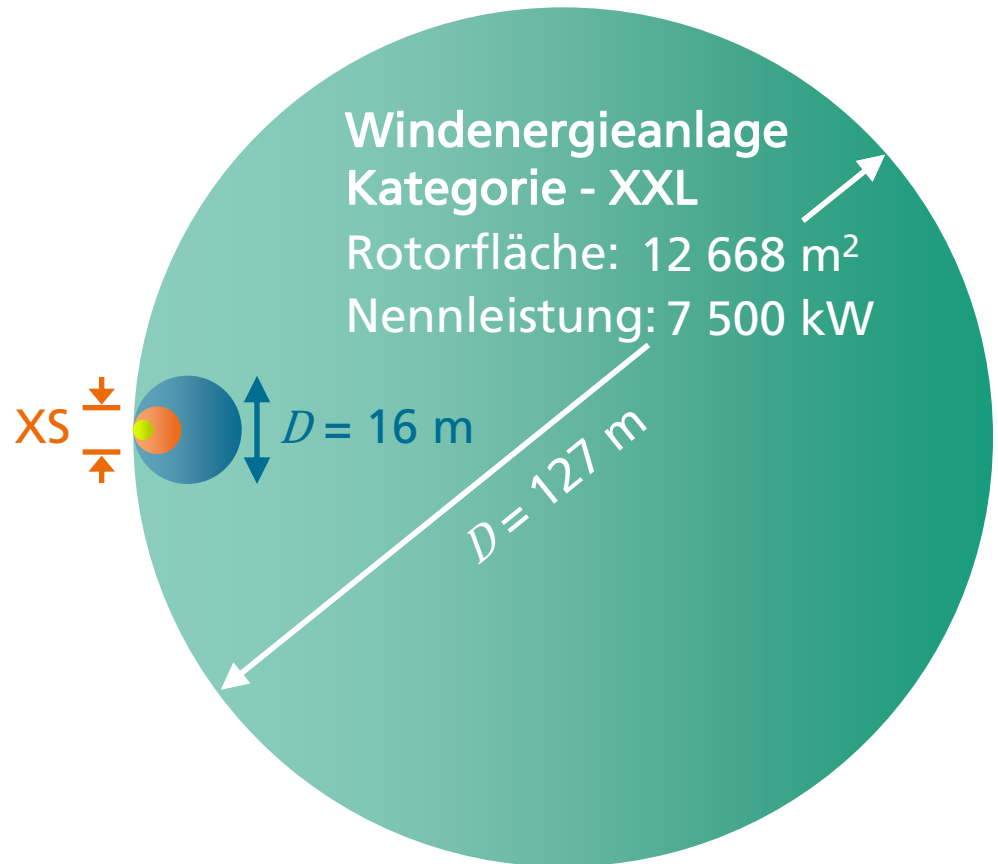
Definition und Größenkategorien

KWEA-Klassen:

Kategorie - S $D < 16 \text{ m}$
Rotorfläche: bis 200 m^2
Nennleistung: bis 75 kW

Kategorie - XS $D < 7 \text{ m}$
Rotorfläche: bis 40 m^2
Nennleistung: bis 10 kW

Kategorie - Mikro $D < 2,8 \text{ m}$
Rotorfläche: bis 6 m^2
Nennleistung: bis $1,5 \text{ kW}$



KLEINE WINDENERGIEANLAGEN – EINE OPTION FÜR LANDWIRTE?

1. Grundlagen
2. Herausforderungen bei der Projektierung
3. Ertragsabschätzung und Wirtschaftlichkeit
4. Erfahrungen aus der Praxis
5. Fazit

Projektierung

PV vs. KWEA

Planungsaufgaben	Photovoltaikanlage 	kleine Windenergieanlage 
Ressourcen- bewertung	solare Einstrahlung	mittlere Windgeschwindigkeit, Häufigkeitsverteilung, Hauptwindrichtung, Turbulenzintensität
Standortwahl	Modulausrichtung und -neigung, Abschattung sichtbar	Platzierung des Turmes, Windschatten und Turbulenz durch Hindernisse und Geländeart nicht sichtbar
Dimensionierung	Kollektorfläche, Nenn- bzw. Spitzenleistung (kWp)	Rotordurchmesser bzw.- fläche, Nennleistung, Turmhöhe und Grundfläche
Auswahl der Technik	Modul- bzw. Zelltyp, Wechselrichter (Laderegler)	große Technikvielfalt (Rotor, Generator, Turm etc.)
Betrieb, Wartung & Instandhaltung	keine beweglichen Teile, Zugangsmöglichkeit (Dach)	bewegliche Teile: Sicherheit, Geräusch-emissionen, Vibrationen, Schattenschlag, Verschleiß, Zugangsmöglichkeit (Turm)

Projektierung

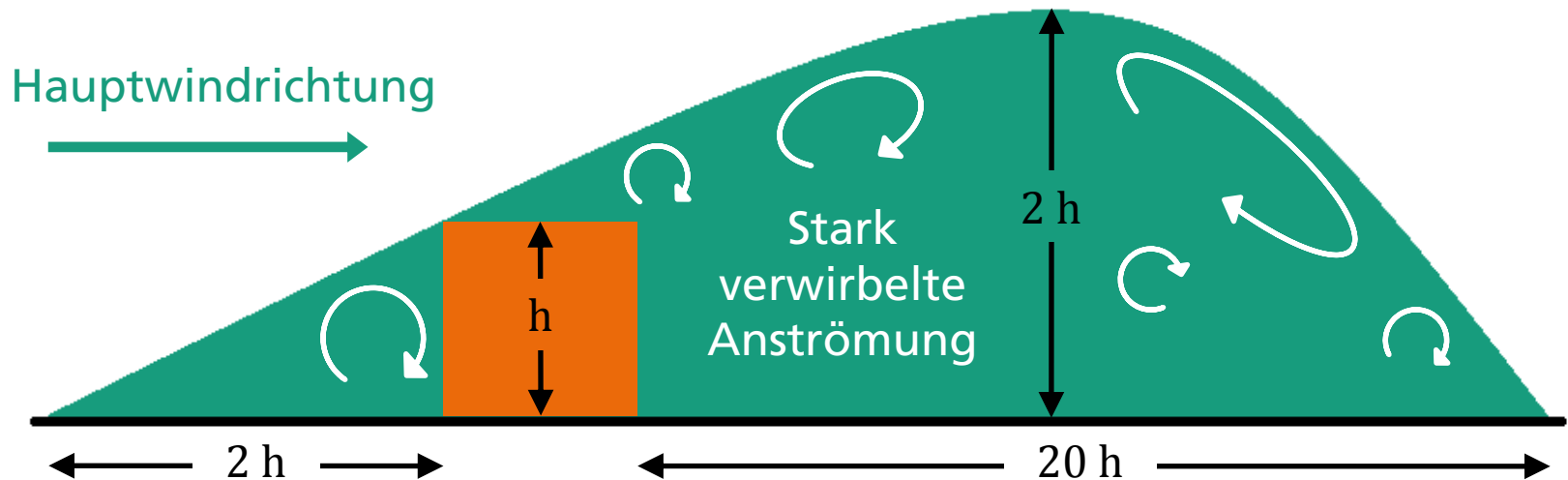
Wahl der passenden KWEA



Projektierung

Bewertung des Standortes

- Bewertung der Windressourcen: in der Regel keine Messdaten verfügbar
→ Wind als Planungsrisiko
- Unmittelbare Nähe zum Verbraucher: viele Hindernisse (Gebäude, Bäume)
→ große Oberflächenrauigkeit
- Ertrag → passende KWEA, angemessene Turmhöhe und gute Standortwahl sind entscheidend



KLEINE WINDENERGIEANLAGEN – EINE OPTION FÜR LANDWIRTE?

1. Grundlagen
2. Herausforderungen bei der Projektierung
3. Ertragsabschätzung und Wirtschaftlichkeit
4. Erfahrungen aus der Praxis
5. Fazit

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Datengrundlage und Methodik

■ Datengrundlage:

- Vermessene Leistungskurven von vier technologisch ausgereiften KWEA der Größenkategorien Mikro, XS und S
- Langjährige Winddaten von drei repräsentativen Standorten in Deutschland
- Listenpreise der KWEA

■ Methodik:

- Ertragsabschätzung der KWEA in den angebotenen Nabenhöhen
- Ermittlung der Stromgestehungskosten
- Verrechnung mit Vergütung bzw. vermiedenen Strombezugskosten in drei Verbrauchsszenarien (EEG und/ oder Eigenverbrauch)

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Datengrundlage und Methodik

- Für eine Abschätzung der Erträge in Nabenhöhe wurden an den Standorten Rauigkeitslängen z_0 anhand von Beschreibungen und Fotos der Messstandorte in Anlehnung an die Definitionen des Europäischen Windatlas (WAsP) ermittelt
- Anhand der ermittelten Rauigkeitslängen der jeweiligen Standorte wurden die ausgewählten KWEA in Nabenhöhe geschätzt
- Die Abschätzung der Energieerträge erfolgte mit Hilfe des *Yield Estimators* des Fraunhofer IWES

Standort	Messhöhe	Weibullfaktor A	Weibullfaktor k	Mittlere Windgeschwindigkeit
Luckau	10 m	4,06 m/s	1,6	3,6 m/s
	30 m	5,28 m/s	1,9	4,8 m/s
Freisen	10 m	4,7 m/s	1,7	4,4 m/s
	30 m	6,0 m/s	2,0	5,5 m/s
Fehmarn	10 m	6,5 m/s	1,9	5,9 m/s
	30 m	8,0 m/s	2,1	7,2 m/s

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Standorte

- Auswahl von drei repräsentativen Standorten des IWES-Windmessnetzes:
 - Messhöhen 10 m in 30 m
 - Langjährige Windmesszeitreihen liegen vor

	Standort	Messhöhe	Mittlere Windgeschwindigkeit
1	Fehmarn	10 m	5,9 m/s
2	Luckau	10 m	3,6 m/s
3	Freisen	10 m	4,4 m/s



Wirtschaftlichkeitsberechnung

Anlagentypen

■ Whisper 200, Southwest Windpower

- Nennleistung: 1 kW
- Rotordurchmesser: 2,7 m



Wirtschaftlichkeitsberechnung

Anlagentypen

- Whisper 200, Southwest Windpower
 - Nennleistung: 1 kW
 - Rotordurchmesser: 2,7 m
- EasyWind 6 AC, EasyWind GmbH
 - Nennleistung: 6 kW
 - Rotordurchmesser: 6 m



Wirtschaftlichkeitsberechnung

Anlagentypen

- Whisper 200, Southwest Windpower
 - Nennleistung: 1 kW
 - Rotordurchmesser: 2,7 m
- EasyWind 6 AC, EasyWind GmbH
 - Nennleistung: 6 kW
 - Rotordurchmesser: 6 m
- Gaia-Wind 133-11kW, Gaia-Wind
 - Nennleistung: 11 kW
 - Rotordurchmesser: 13 m



Wirtschaftlichkeitsberechnung

Anlagentypen

- Whisper 200, Southwest Windpower
 - Nennleistung: 1 kW
 - Rotordurchmesser: 2,7 m
- EasyWind 6 AC, EasyWind GmbH
 - Nennleistung: 6 kW
 - Rotordurchmesser: 6 m
- Gaia-Wind 133-11kW, Gaia-Wind
 - Nennleistung: 11 kW
 - Rotordurchmesser: 13 m
- WES18, Wind Energy Solutions BV
 - Nennleistung: 80 kW
 - Rotordurchmesser: 18 m



Wirtschaftlichkeitsbrechung

Ergebnisse

- Spezifische Gewinne in Euro pro Kilowattstunde (€/kWh) der vier KWEA an den drei Standorten für drei Verbrauchsszenarien

			Mikro		XS	S		S+
Szenario	Standort		Whisper 200		EasyWind 6 AC	Gaia-Wind 133-11kW		WES18
		Turmhöhe	9 m	24 m	19 m	18 m	27 m	30 m
100 % EEG	Luckau	Gewinn (€/kWh)	-0,46	-0,36	-0,25	-0,16	-0,17	-0,18
	Freisen	Gewinn (€/kWh)	-0,31	-0,25	-0,17	-0,12	-0,13	-0,12
	Fehmarn	Gewinn (€/kWh)	-0,13	-0,12	-0,07	-0,07	-0,09	-0,03
40 % Eigenversorgung	Luckau	Gewinn (€/kWh)	-0,40	-0,29	-0,18	-0,09	-0,10	-0,12
60 % EEG	Freisen	Gewinn (€/kWh)	-0,25	-0,19	-0,11	-0,05	-0,06	-0,05
	Fehmarn	Gewinn (€/kWh)	-0,06	-0,06	-0,01	-0,01	-0,03	0,03
100 % Eigenversorgung	Luckau	Gewinn (€/kWh)	-0,30	-0,20	-0,09	0,00	-0,01	-0,02
	Freisen	Gewinn (€/kWh)	-0,15	-0,09	-0,01	0,05	0,03	0,04
	Fehmarn	Gewinn (€/kWh)	0,032	0,036	0,09	0,09	0,07	0,13

Abschätzung des Jahresertrages (AEP): Rotordurchmesser / überstrichene Rotorfläche

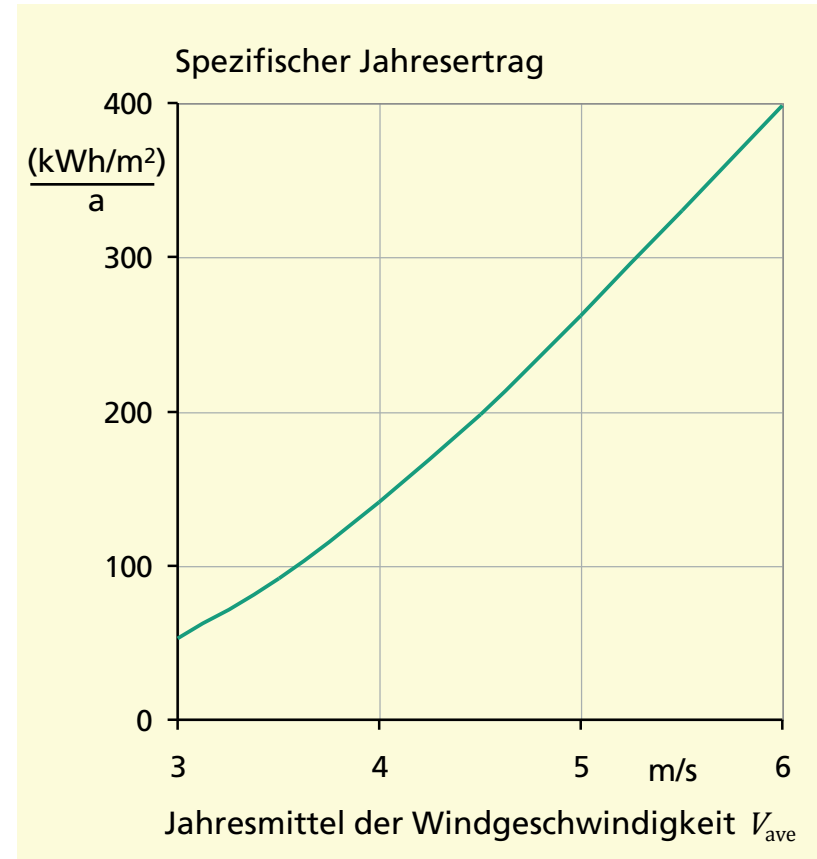
Rotor- durchmesser	Rotor- fläche	Leistung im Wind x 0,3 bei 9 m/s
1 m	0,8 m ²	105 W
3 m	7 m ²	950 W
5 m	20 m ²	2 630 W
7 m	40 m ²	5 150 W
10 m	80 m ²	10 520 W

Beispiel

KWEA: $D = 3 \text{ m}$

Standort: $V_{\text{ave}} = 5 \text{ m/s}$

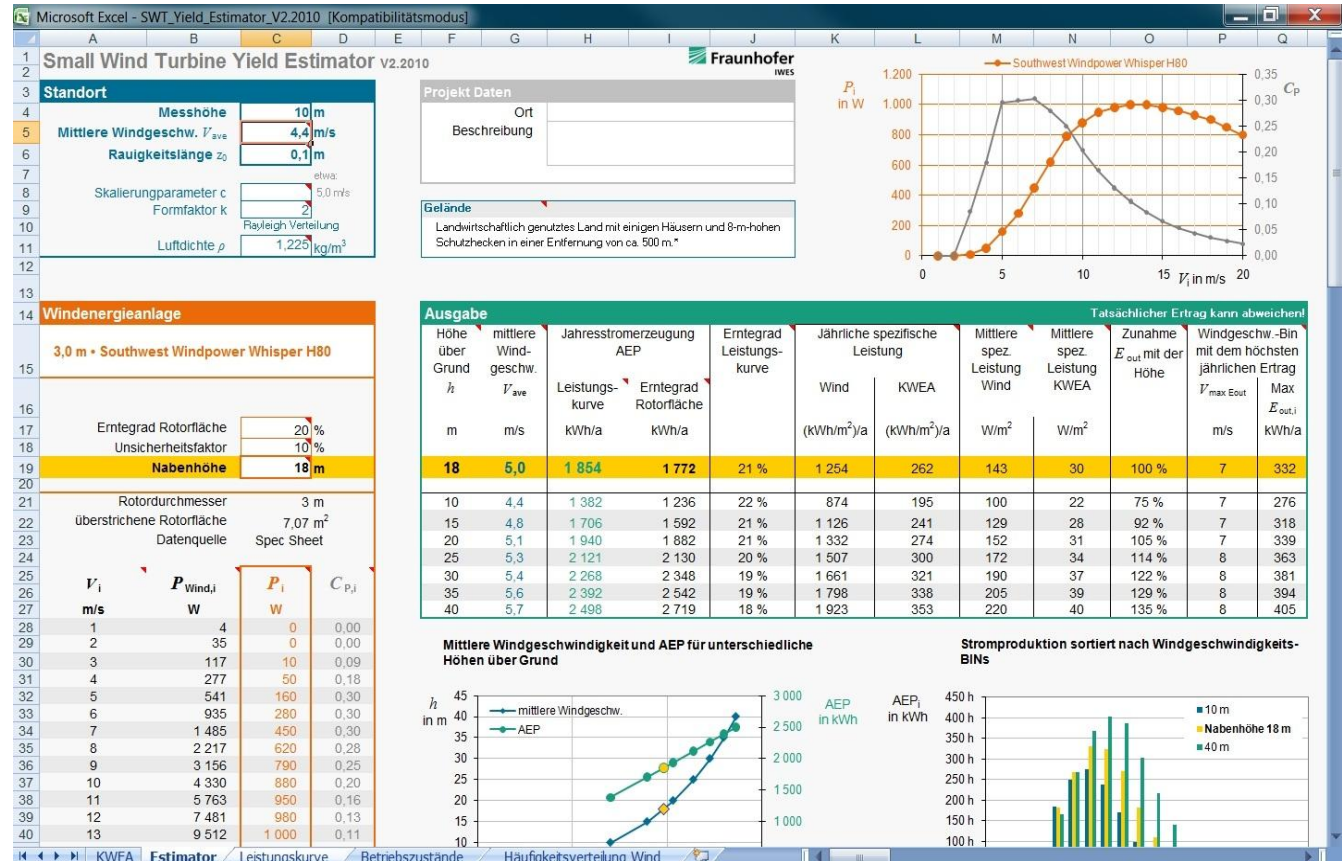
$$\begin{aligned} \text{AEP} &= 260 \text{ (kWh/m}^2\text{)/a} \times 7 \text{ m}^2 \\ &= \underline{\underline{1\,820 \text{ kWh/a}}} \end{aligned}$$



Ertragsabschätzung Small Wind Turbine Yield Estimator

MS Excel-Tool zur
Abschätzung des
Jahresenergieertrages
kleiner
Windenergieanlagen

Download:
www.windmonitor.de



KLEINE WINDENERGIEANLAGEN – EINE OPTION FÜR LANDWIRTE?

1. Grundlagen
2. Herausforderungen bei der Projektierung
3. Ertragsabschätzung und Wirtschaftlichkeit
4. Erfahrungen aus der Praxis
5. Fazit

Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm (WMEP) zum Breitentest „250 MW Wind“

- Begleitung der Windenergienutzung in Deutschland durch das ISET* seit 1989
- Datenbeschaffung:
 - Logbücher und Berichte der Betreiber
 - Fernmessnetz (elektrische Leistung, Wind)
- Schwerpunkte:
 - Windangebot
 - Betriebsergebnisse
 - Zuverlässigkeit
 - Wirtschaftlichkeit
- Daten von 1 500 WEA davon **235 KWEA**



*aus ISET wurde IWES. Das ISET ist 2009 in die Fraunhofer-Gesellschaft übergegangen.

Südlichste KWEA im WMEP: HM H-Rotor 60 am Rotwandhaus in den bayrischen Voralpen



Foto: www.wikipedia.de

Beispiele für KWEA-Typen im WMEP

Kategorie S

Kategorie XS



www.windstrom-service.de



$40 \text{ m}^2 < A_{\text{Rotor}} < 200 \text{ m}^2$

$A_{\text{Rotor}} < 40 \text{ m}^2$

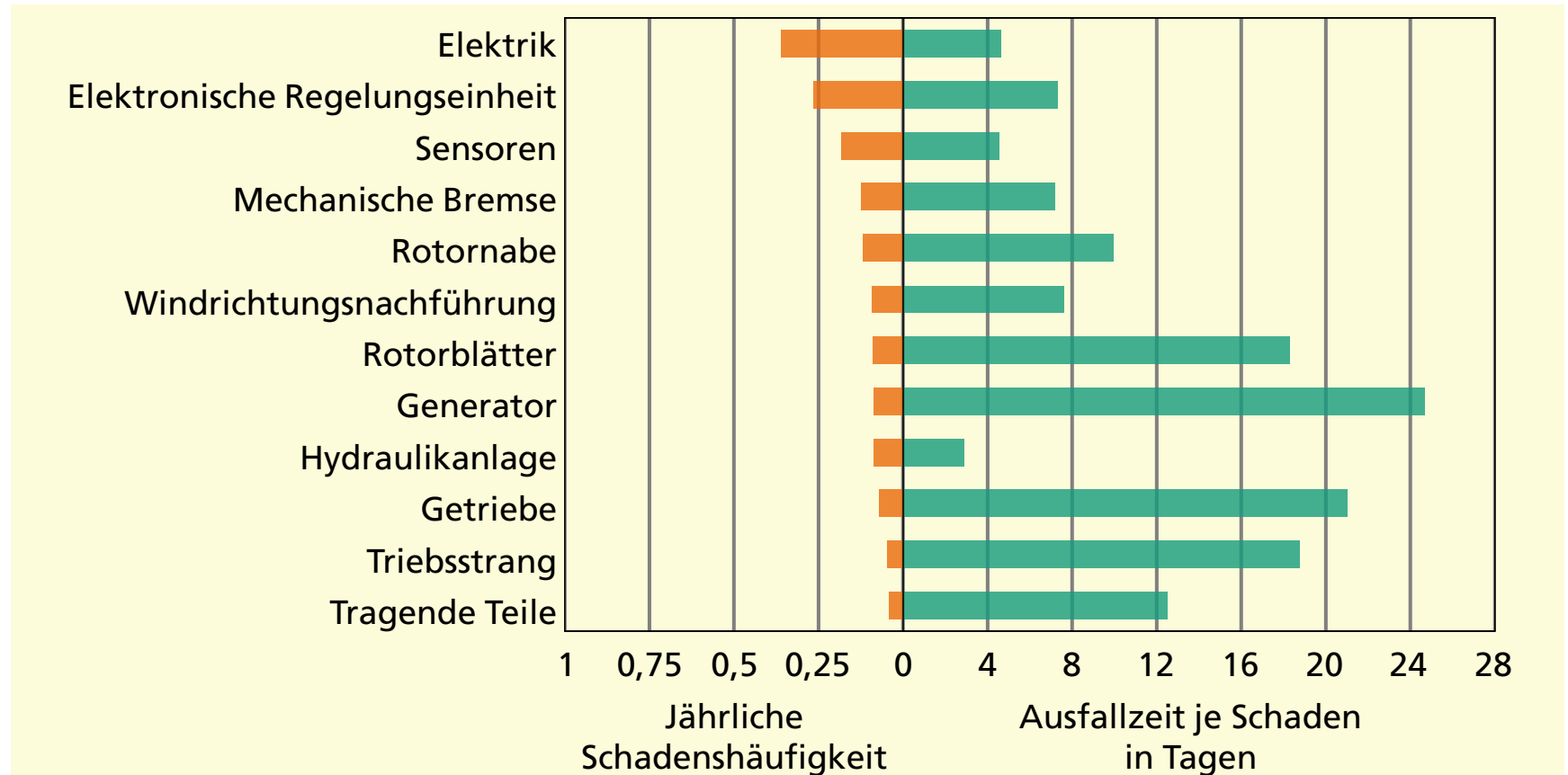


Berichte der Betreiber & Telefoninterviews

- Berichte zu Betriebsergebnissen:
 - Stromproduktion
 - Kosten
- Insgesamt mehr als 62 000 Wartungs- und Instandsetzungsberichte, davon:
 - ca. 4 200 von KWEA
- Telefonbefragung (September/Oktober 2009)
 - 51 Betreiber von KWEA

WARTUNGS- UND INSTANDSETZUNGSBERICHT WMEP 250 MW-Wind		Arbeit ausgeführt am Tag Monat Jahr	Bericht-Nr.
Postleitzahl	Anlagen-Kennnummer	Störungsursache ☐ Sturm ☐ Netzausfall ☐ Blitzschlag ☐ Eisansatz ☐ Fehlfunktion der Anlagenregelung ☐ Bauteilverschleiß oder -defekt ☐ Bauteillockerung ☐ Andere Ursachen ☐ Ursache unbekannt	
Betreiber	Hersteller und Typ		
Anlaß der Arbeiten ☐ Regelmäßige Wartung (Nur Durchsicht und Funktionskontrolle) ☐ Regelmäßige Wartung mit Austausch von Verschleißteilen oder Beseitigung gefundener Mängel ☐ Unplanmäßige Reparatur nach Betriebsstörung			
Stillstandzeiten ☐ Nicht abgeschaltet von bis Tag Monat Uhrzeit Stand des Stundenzählers		Störungsauswirkung ☐ Überdrehzahl ☐ Überlast ☐ Geräuschentwicklung ☐ Vibrationen ☐ Reduzierte Leistungsabgabe ☐ Verursachung von Folgeschäden ☐ Anlagenstillstand ☐ Andere Auswirkungen	
Kosten laut Rechnung		Störungsbehebung Einwandfreie Anlagenfunktion ohne Reparatur nach : ☐ Anlagen-Reset ☐ Änderung von Regelungsparameter Reparierte oder ausgetauschte Bauteile ☐ Rotormabe ☐ Nabenkörper ☐ Blattverstellmechanismus ☐ Blattlager ☐ Rotorblätter ☐ Blattverschraubung ☐ Blattkörper ☐ Getriebe ☐ Lager ☐ Zahnräder ☐ Getriebewellen ☐ Dichtungen ☐ Mechanische Bremse ☐ Bremsscheibe	

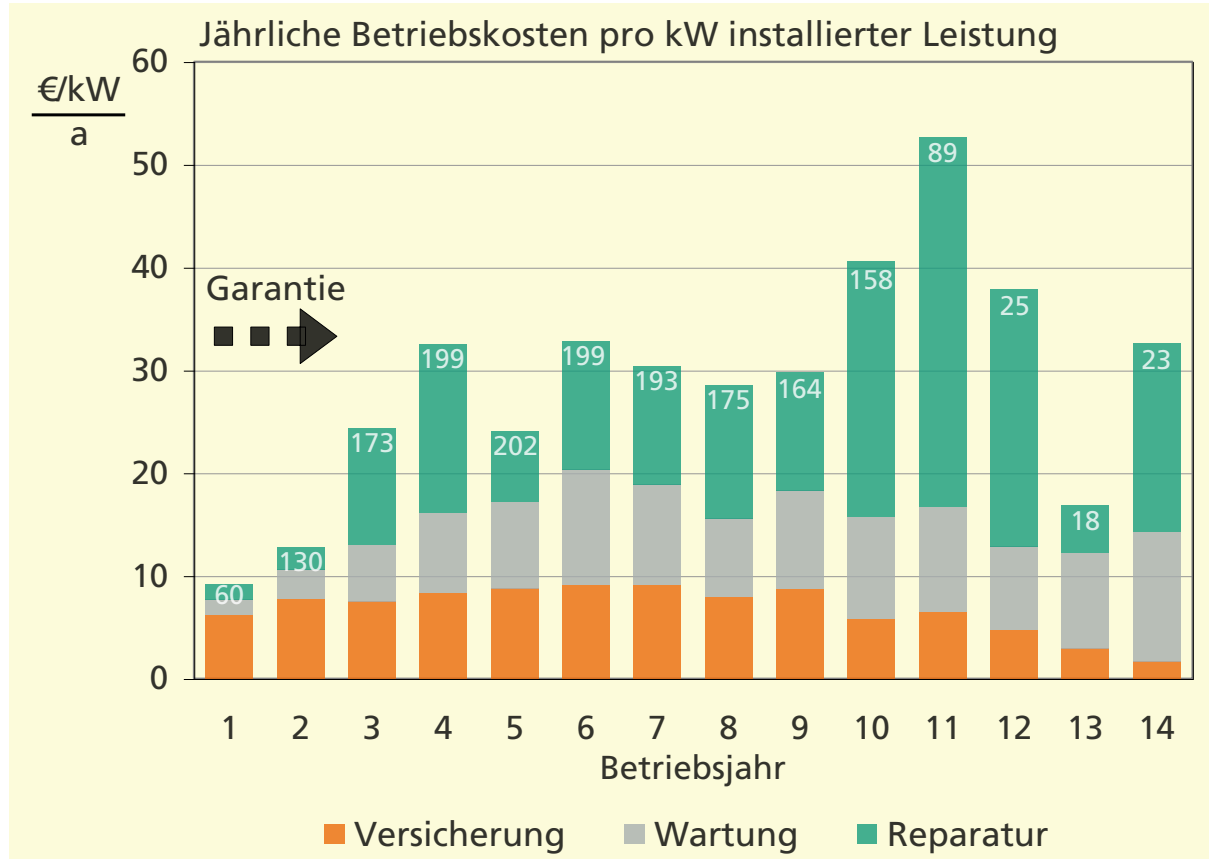
Schadenshäufigkeit von KWEA-Komponenten und zugehörige Ausfallzeiten



Betreiberbefragung: Lebensdauer & Betrieb (September/ Oktober 2009)

	XS		S	
	Ja	Nein	Ja	Nein
Läuft Ihre KWEA noch?	8	15	22	6
Durchschnittliches Anlagenalter in Jahre	16	9,7	17,4	12,7
Gab es größere Probleme während der Betriebszeit?	12	7	12	8
Gab es Beschwerden, z. B. der Nachbarn?	4	15	6	15
Haben Sie Wartungs- und Reparaturarbeiten selbst durchgeführt?	12	5	12	10

Entwicklung der Betriebskosten von KWEA



■ Mittlere jährliche Betriebskosten pro kWh Jahresarbeit:

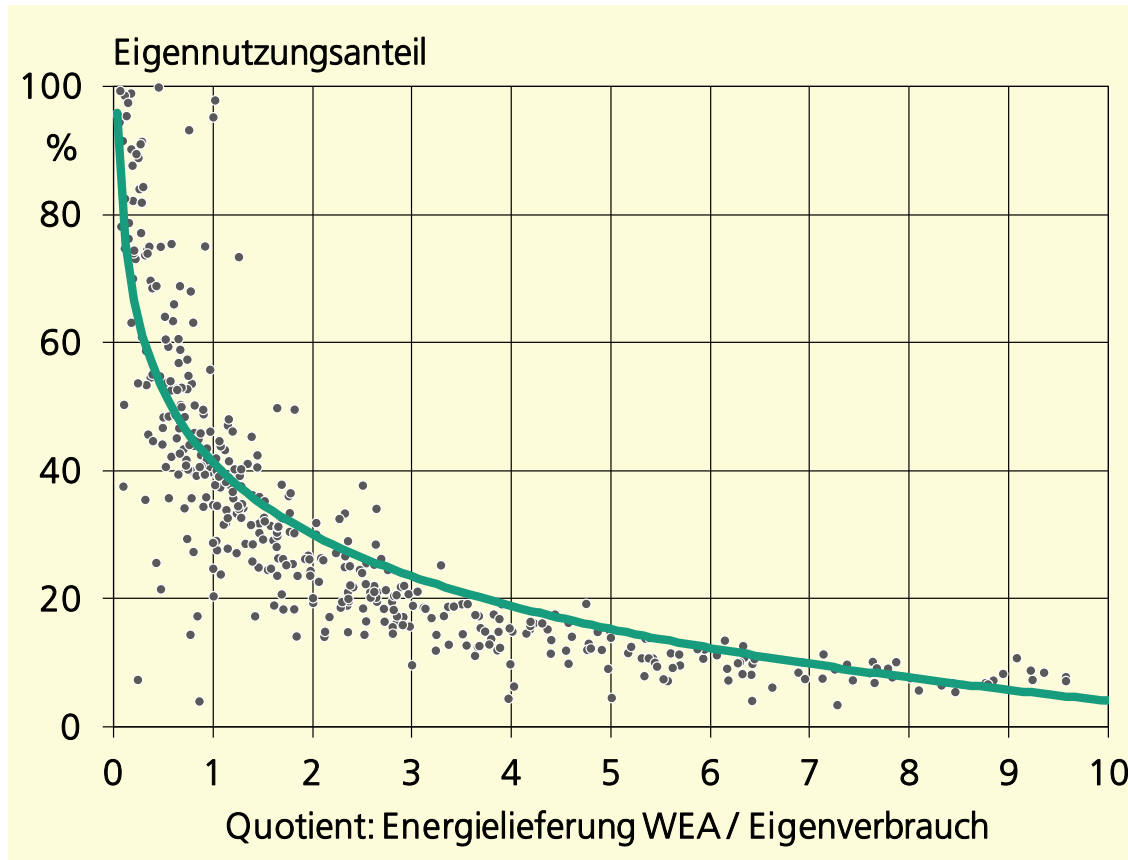
■ L: 1,5 c€/kWh

■ S: 3,5 c€/kWh

■ XS: 16 c€/kWh

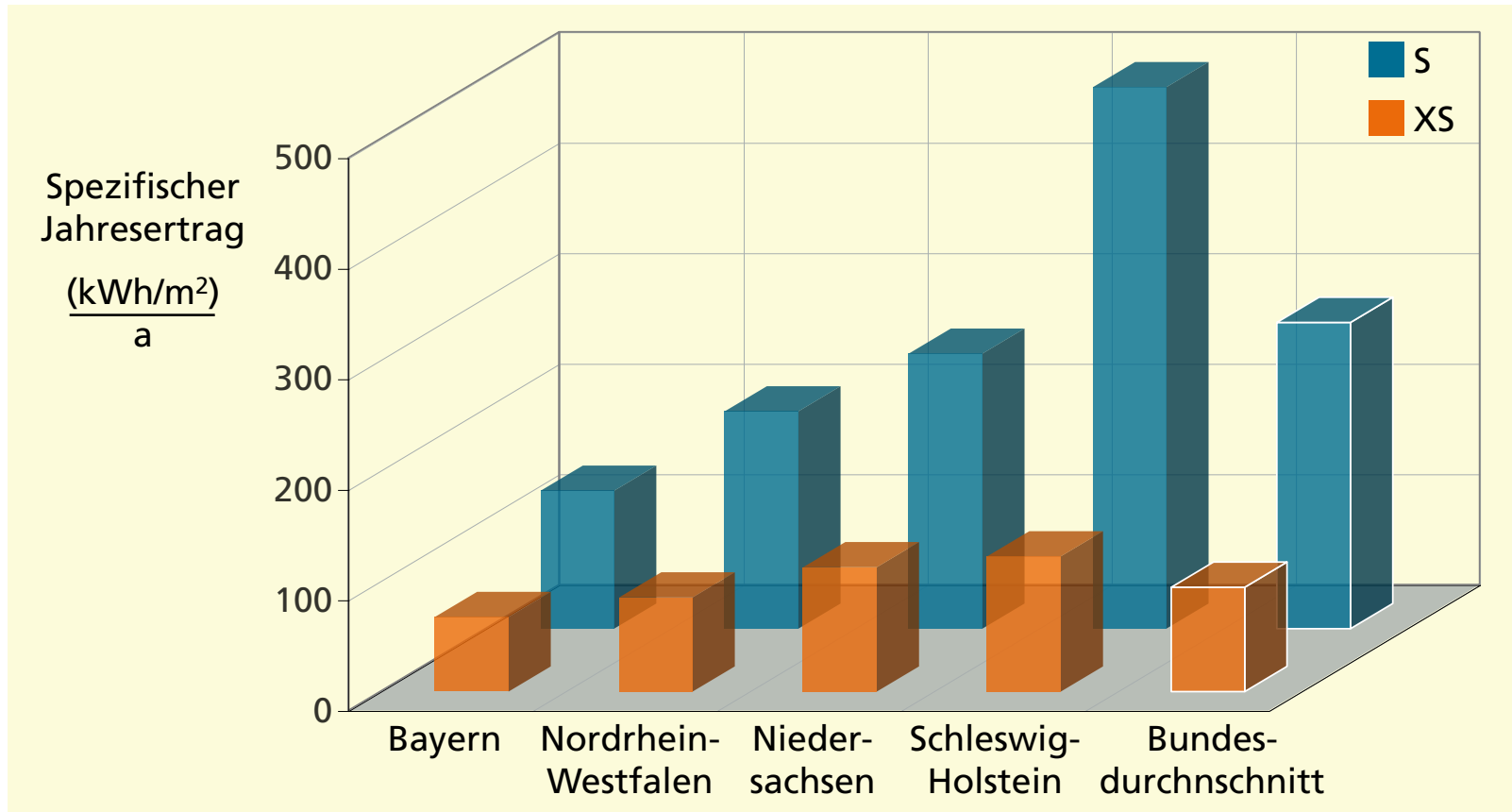
Eigennutzungsanteil am erzeugten Windstrom

Zusätzliche Erträge durch „vermiedene Strombezugskosten“



- Ca. 1/3 Drittel aller WMEP-Anlagen trug direkt zur Stromversorgung des Betreibers bei
- Eigennutzungsanteil ist abhängig vom Verhältnis zwischen Windstromerzeugung und Strombedarf und von der **zeitlichen Übereinstimmung** dieser Größen

Mittlerer flächenspezifischer Jahresertrag von KWEA



Betreiberbefragung: Zufriedenheit (September / Oktober 2009)

	XS		S	
	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden Ihre Erwartungen an den Ertrag erfüllt?	3	16	10	22
Konnten Sie Gewinn erwirtschaften?	0	19	7	15
Würden Sie heute noch einmal eine KWEA installieren?	13	5	15	7

KLEINE WINDENERGIEANLAGEN – EINE OPTION FÜR LANDWIRTE?

1. Grundlagen
2. Herausforderungen bei der Projektierung
3. Ertragsabschätzung und Wirtschaftlichkeit
4. Erfahrungen aus der Praxis
5. Fazit

Zusammenfassung und Fazit (1)

Planung und Betrieb von kleinen Windenergieanlagen

- Technisches Risiko: große Vielfalt an technischen Konzepten und Systemen
 - typische Systeme: Batterielader im Leistungsbereich bis 1,5 kW, netzgebundene KWEA mit Vollumrichter im Leistungsbereich 5... 80 kW
 - unüberschaubarer Markt: weltweit mehr als 180 Hersteller
 - unterschiedliche technische Reife: besonders kritisch in Bezug auf Sicherheit und Performance/Ertrag
 - nicht-standardisierte, teils fragwürdige Produktangaben
- Betriebserfahrungen
 - Aufwand und Kosten für Wartung und Instandhaltung oft unterschätzt
 - Ertrag bleibt häufig hinter Erwartungen zurück: **zu wenig Wind, unausgereifte Technik, zu geringe Turmhöhe**
- Hoher Genehmigungsaufwand: Bau, TA Lärm...

Zusammenfassung und Fazit (2)

Planung und Betrieb von kleinen Windenergieanlagen

- Wind als Risiko → Standortqualifizierung oft unzureichend
- Wirtschaftlichkeit allgemein: im Vergleich zu großen WEA haben KWEA höhere spezifische Kosten und niedrigere spezifische Erträge
- Hohe Investitionskosten (Anlage, Turm)
 - Preispanne KWEA: zw. 2 000 € und 7 500 € pro kW installierter Leistung
 - Investitionsnebenkosten: Kapitalkosten, Fundament, Wechselrichter, Batterie, Planung, Genehmigungen, Gutachten, Netzanschluss
- Betriebskosten oft unterschätzt (Lebensdauer 20 Jahre): Versicherung, Wartung- und Instandsetzung / Reparatur
- Einnahmen
 - Stromverkauf nach EEG-Vergütung EEG wie große WEA: Anfangsvergütung 9,2 Cent pro kWh, Grundvergütung 5,02 Cent pro kWh
 - Vermeidung von Strombezugskosten → möglichst Eigenverbrauch

Zusammenfassung und Fazit (3)

Option für Landwirte?

- Die Frage nach Wirtschaftlichkeit ist nicht pauschal zu beantworten:
 - Steht und fällt mit den Standortbedingungen und Windressourcen
 - Praxis und Theorie zeigen: in vielen Fällen unter heutigen Rahmenbedingungen nicht gegeben
- KWEA-Strom möglichst zur Eigenbedarfsdeckung nutzen
- Eine Windmesskampagne (mindestens 1 Jahr) verringert Planungsrisiko erheblich
- Aufwand, Kosten und Komplexität für die Realisierung einer KWEA werden oft unterschätzt
- Professionelle Unterstützung kann viel Nerven, Zeit und Geld sparen



*Advancing Wind Energy
and Energy System Technology*



M. Sc. Paul Kühn
paul.kuehn@iwes.fraunhofer.de

Bereich Energiewirtschaft und Netzbetrieb
Leiter Zuverlässigkeit und Instandhaltungsstrategien

Fraunhofer-Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik IWES
Königstor 59 | 34119 Kassel