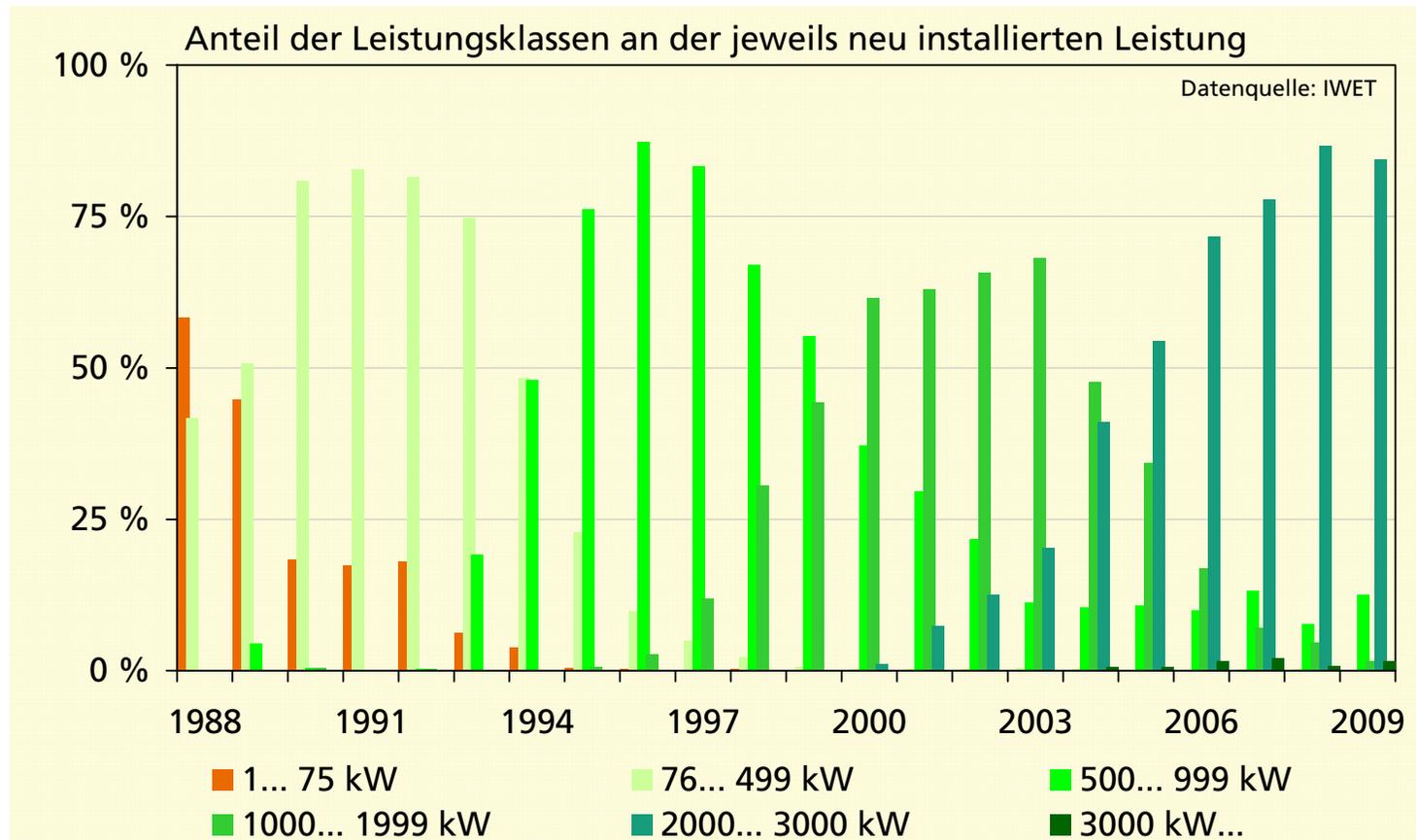

KLEINE WINDENERGIEANLAGEN BETRIEBSERFAHRUNGEN & ERTRAGSABSCHÄTZUNG

Paul Kühn | Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik
2. BWE-Kleinwindanlagen-Symposium | 17. Oktober 2009 | Kassel

KLEINE WINDENERGIEANLAGEN BETRIEBSERFAHRUNGEN & ERTRAGSABSCHÄTZUNG

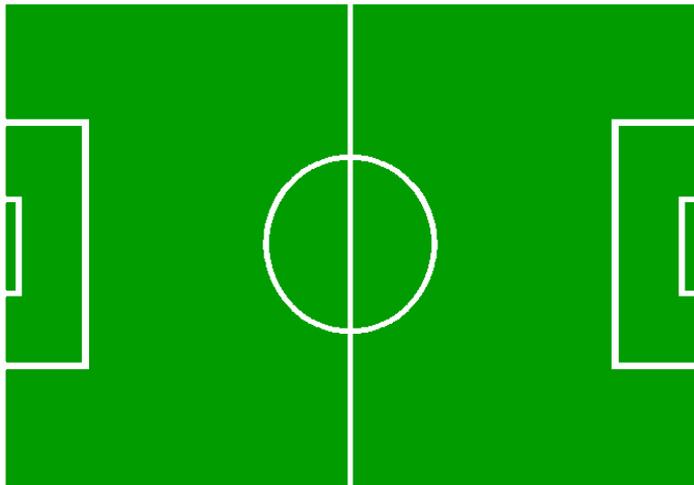
1. Einführung
2. Betriebserfahrungen
3. Ertragsabschätzung

Durchdringung des Marktes mit großen Windenergieanlagen (WEA) in Deutschland



Große Windenergieanlagen (WEA) Größenvergleich 1

Fußballfeld



Spielfläche: 7 140 m²



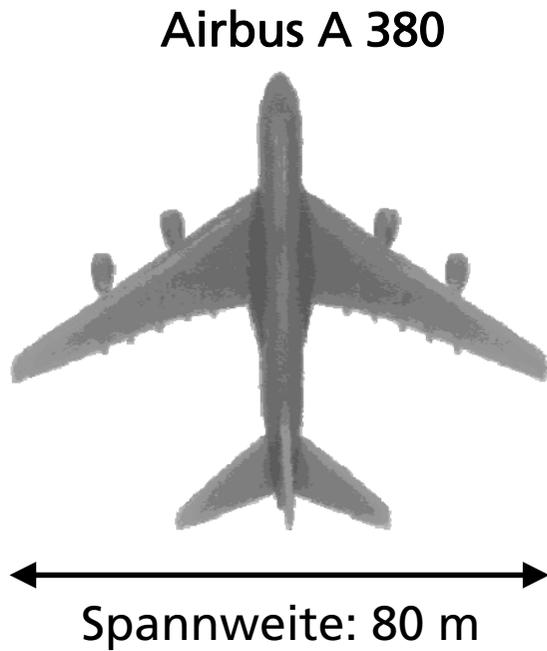
Windenergieanlage
Kategorie - XXL

Rotorfläche: 12 600 m²

Nennleistung: 6 000 kW

$D = 127 \text{ m}$

Große Windenergieanlagen (WEA) Größenvergleich 2



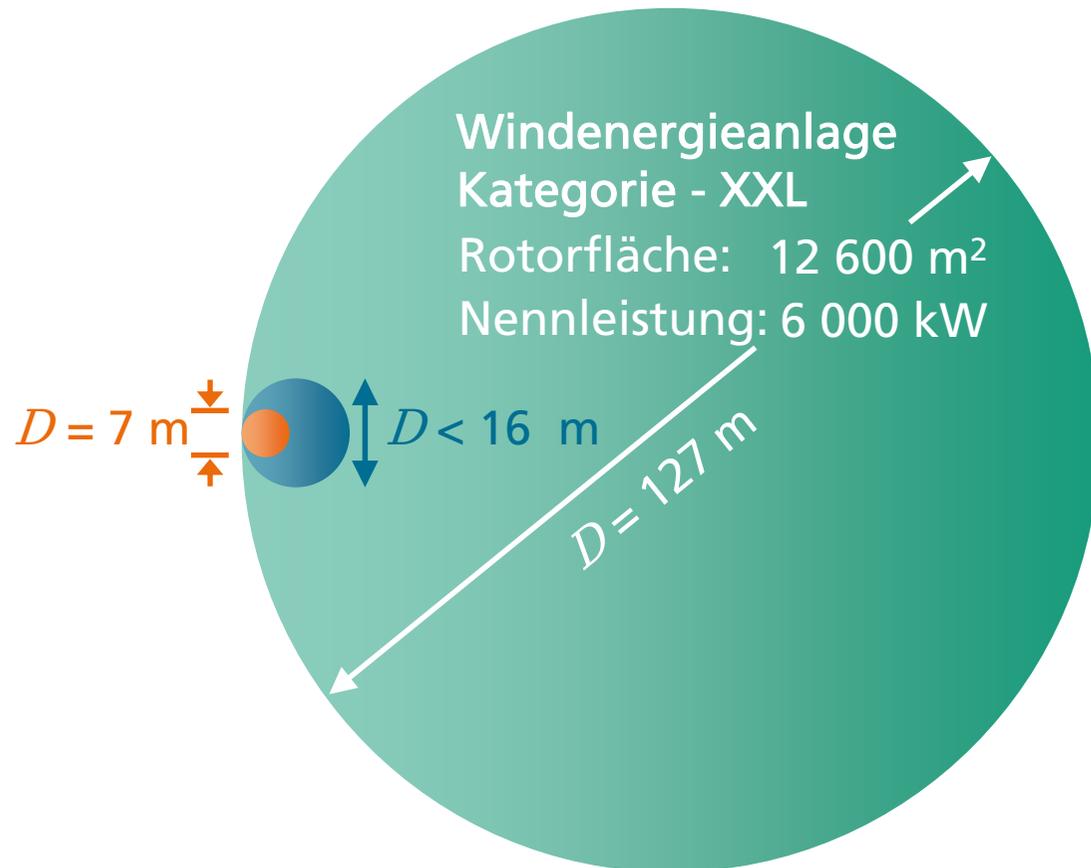
Kleine Windenergieanlagen (KWEA)

Kleine Windenergieanlage Kategorie - S

Rotorfläche: bis 200 m²
Nennleistung: bis 75 kW

Kleine Windenergieanlage Kategorie - XS

Rotorfläche: bis 40 m²
Nennleistung: bis 10 kW



KLEINE WINDENERGIEANLAGEN BETRIEBSERFAHRUNGEN & ERTRAGSABSCHÄTZUNG

1. Einführung
2. Betriebserfahrungen
3. Ertragsabschätzung

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

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 8 -

- Begleitung der Windenergienutzung in Deutschland durch das ISET / IWES 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**



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

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 9 -



Foto: www.wikipedia.de

Beispiele für KWEA-Typen im WMEP Kategorie S

Kategorie XS



www.windstrom-service.de



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

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

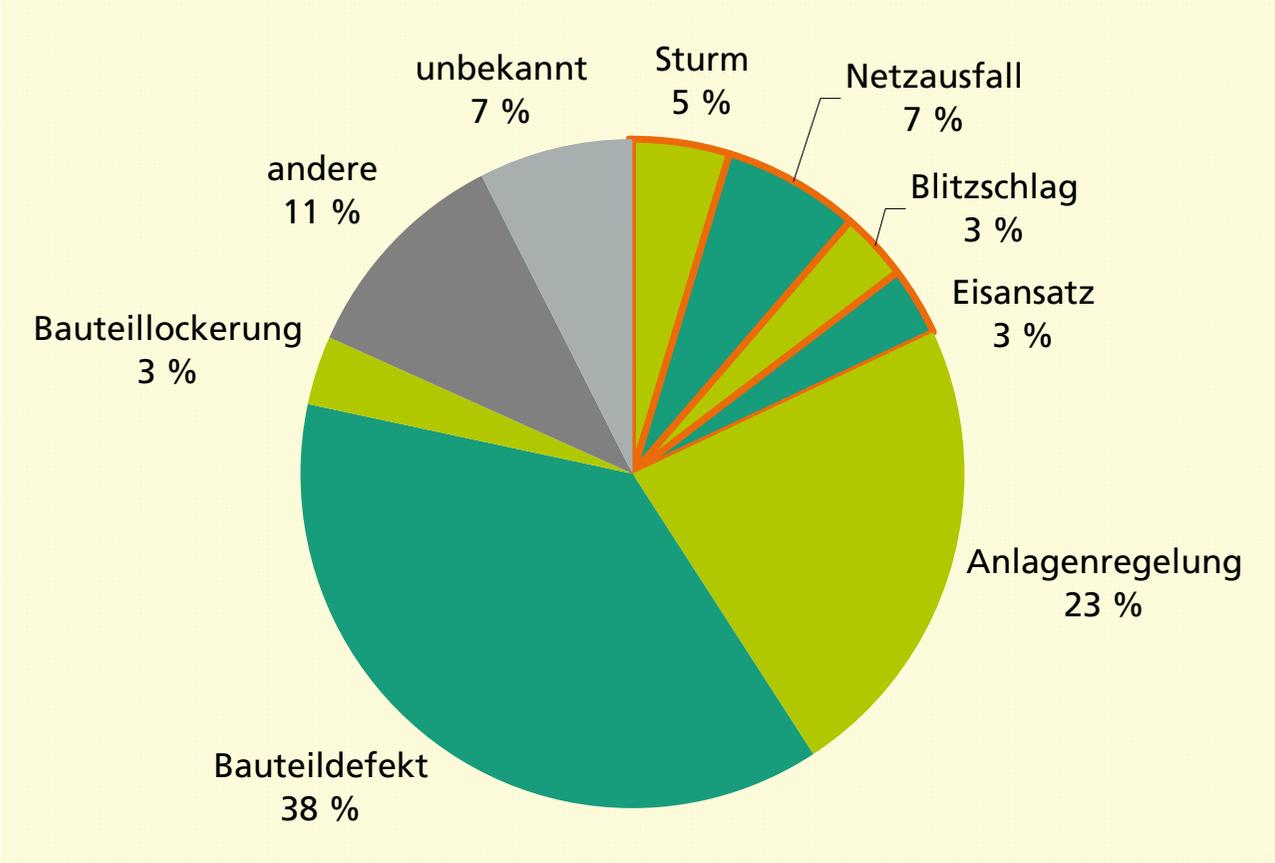


Datengrundlage: Berichte der Betreiber & Telefoninterviews

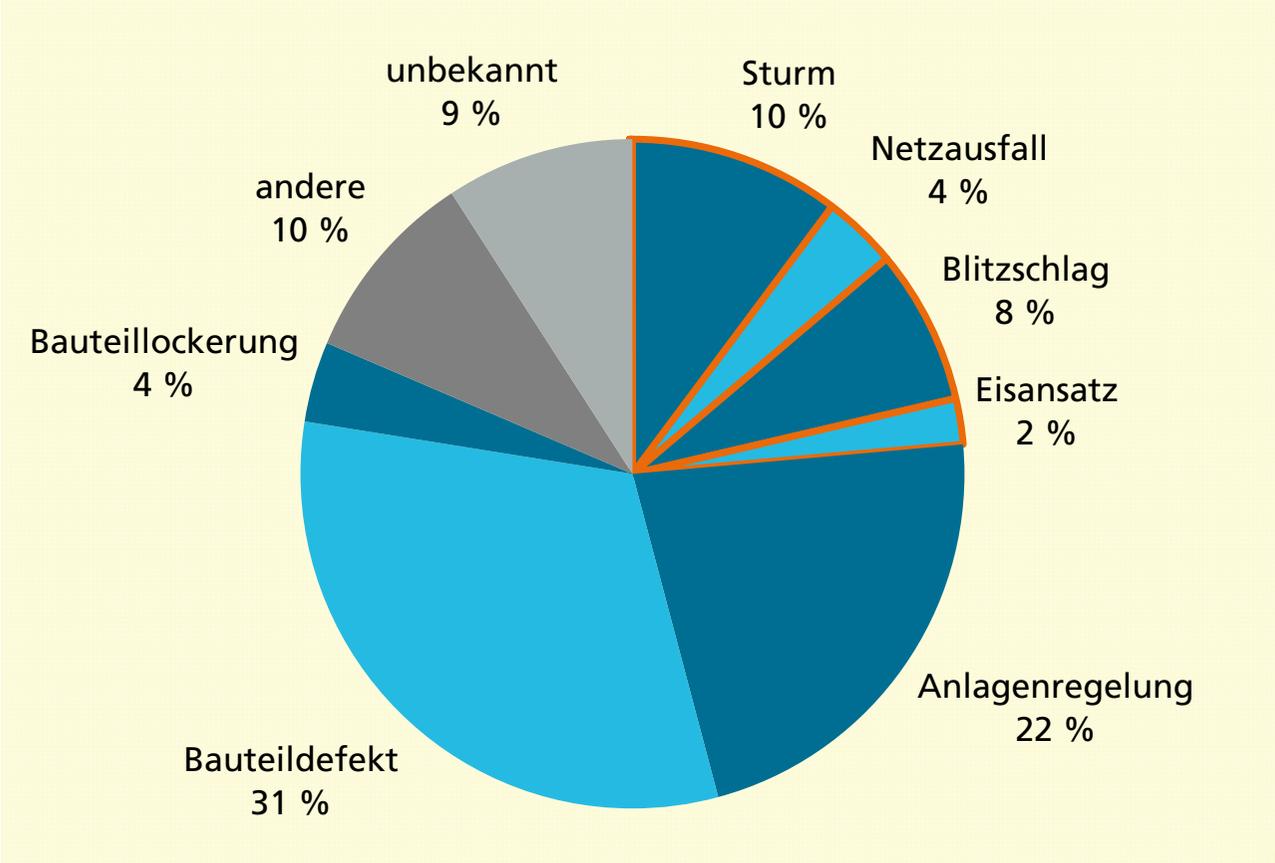
- Berichte zu Betriebsergebnissen:
 - Stromproduktion
 - Kosten
- Insgesamt mehr als 62 000 Wartungs- und Instandsetzungsberichte, davon:
 - ca. 4 200 von KWEA
- Telefonbefragung (September/Oktober 2009)
 - 51 Betreiber von KWEA

WARTUNGS- UND INSTANDSETZUNGSBERICHT WMEP 250 MW-Wind		Arbeit ausgeführt am	Bericht-Nr.		
		<input type="text"/> Tag <input type="text"/> Monat <input type="text"/> Jahr	<input type="text"/>		
Postleitzahl	<input type="text"/>	Anlagen-Kennnummer <input type="text"/>			
Betreiber	<input type="text"/>				
Hersteller und Typ	<input type="text"/>				
Anlaß der Arbeiten		Störungsursache			
<input type="checkbox"/> Regelmäßige Wartung (Nur Durchsicht und Funktionskontrolle) <input type="checkbox"/> Regelmäßige Wartung mit Austausch von Verschleißteilen oder Beseitigung gefundener Mängel <input type="checkbox"/> Unplanmäßige Reparatur nach Betriebsstörung		<input type="checkbox"/> Sturm <input type="checkbox"/> Netzausfall <input type="checkbox"/> Blitzschlag <input type="checkbox"/> Eisansatz <input type="checkbox"/> Fehlfunktion der Anlagenregelung <input type="checkbox"/> Bauteilverschleiß oder -defekt <input type="checkbox"/> Bauteillockerung <input type="checkbox"/> Andere Ursachen <input type="checkbox"/> Ursache unbekannt			
Stillstandzeiten		Störungsauswirkung			
<input type="checkbox"/> Nicht abgeschaltet <input type="checkbox"/> Abgeschaltet von <input type="text"/> Tag <input type="text"/> Monat <input type="text"/> Uhrzeit bis <input type="text"/> Tag <input type="text"/> Monat <input type="text"/> Uhrzeit Stand des Stundenzählers <input type="text"/>		<input type="checkbox"/> Überdrehzahl <input type="checkbox"/> Überlast <input type="checkbox"/> Geräusentwicklung <input type="checkbox"/> Vibrationen <input type="checkbox"/> Reduzierte Leistungsabgabe <input type="checkbox"/> Verursachung von Folgeschäden <input type="checkbox"/> Anlagenstillstand <input type="checkbox"/> Andere Auswirkungen			
Kosten laut Rechnung		Störungsbehebung			
		Einwandfreie Anlagenfunktion ohne Reparatur nach : <input type="checkbox"/> Anlagen-Reset <input type="checkbox"/> Änderung von Regelungsparameter			
		Reparierte oder ausgetauschte Bauteile <table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> Rotornabe <input type="checkbox"/> Nabenkörper <input type="checkbox"/> Blattverstellmechanismus <input type="checkbox"/> Blattlager <input type="checkbox"/> Rotorblätter <input type="checkbox"/> Blattverschraubung <input type="checkbox"/> Blattkörper </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> Getriebe <input type="checkbox"/> Lager <input type="checkbox"/> Zahnräder <input type="checkbox"/> Getriebewellen <input type="checkbox"/> Dichtungen <input type="checkbox"/> Mechanische Bremse <input type="checkbox"/> Brems Scheibe </td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/> Rotornabe <input type="checkbox"/> Nabenkörper <input type="checkbox"/> Blattverstellmechanismus <input type="checkbox"/> Blattlager <input type="checkbox"/> Rotorblätter <input type="checkbox"/> Blattverschraubung <input type="checkbox"/> Blattkörper	<input type="checkbox"/> Getriebe <input type="checkbox"/> Lager <input type="checkbox"/> Zahnräder <input type="checkbox"/> Getriebewellen <input type="checkbox"/> Dichtungen <input type="checkbox"/> Mechanische Bremse <input type="checkbox"/> Brems Scheibe
<input type="checkbox"/> Rotornabe <input type="checkbox"/> Nabenkörper <input type="checkbox"/> Blattverstellmechanismus <input type="checkbox"/> Blattlager <input type="checkbox"/> Rotorblätter <input type="checkbox"/> Blattverschraubung <input type="checkbox"/> Blattkörper	<input type="checkbox"/> Getriebe <input type="checkbox"/> Lager <input type="checkbox"/> Zahnräder <input type="checkbox"/> Getriebewellen <input type="checkbox"/> Dichtungen <input type="checkbox"/> Mechanische Bremse <input type="checkbox"/> Brems Scheibe				

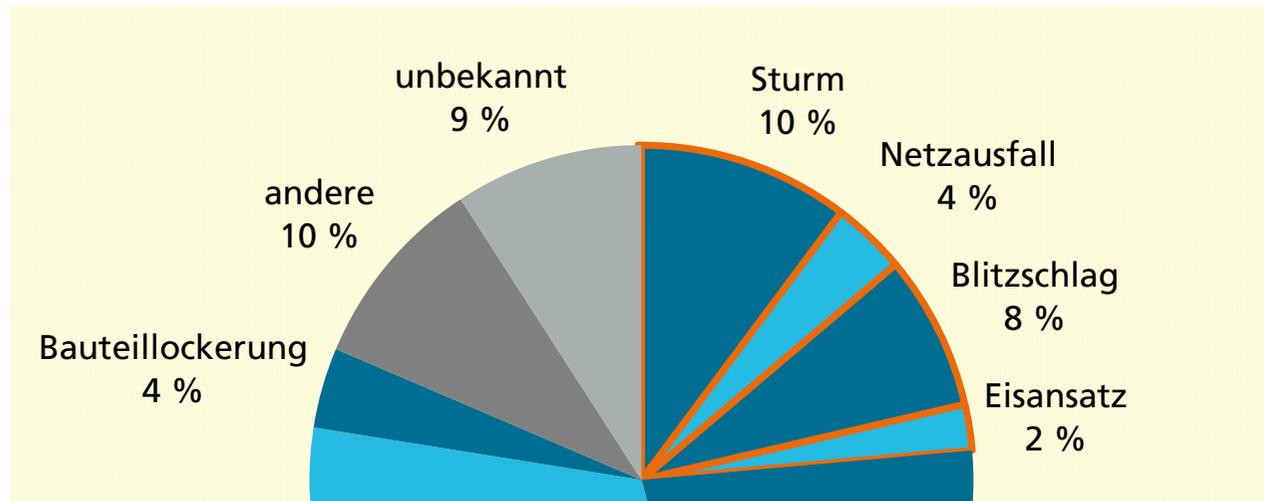
Störungsursachen: Große WEA



Störungsursachen: KWEA



Störungsursachen: KWEA



„Ein Rotorblatt musste wegen eines Blitzschadens repariert werden!“

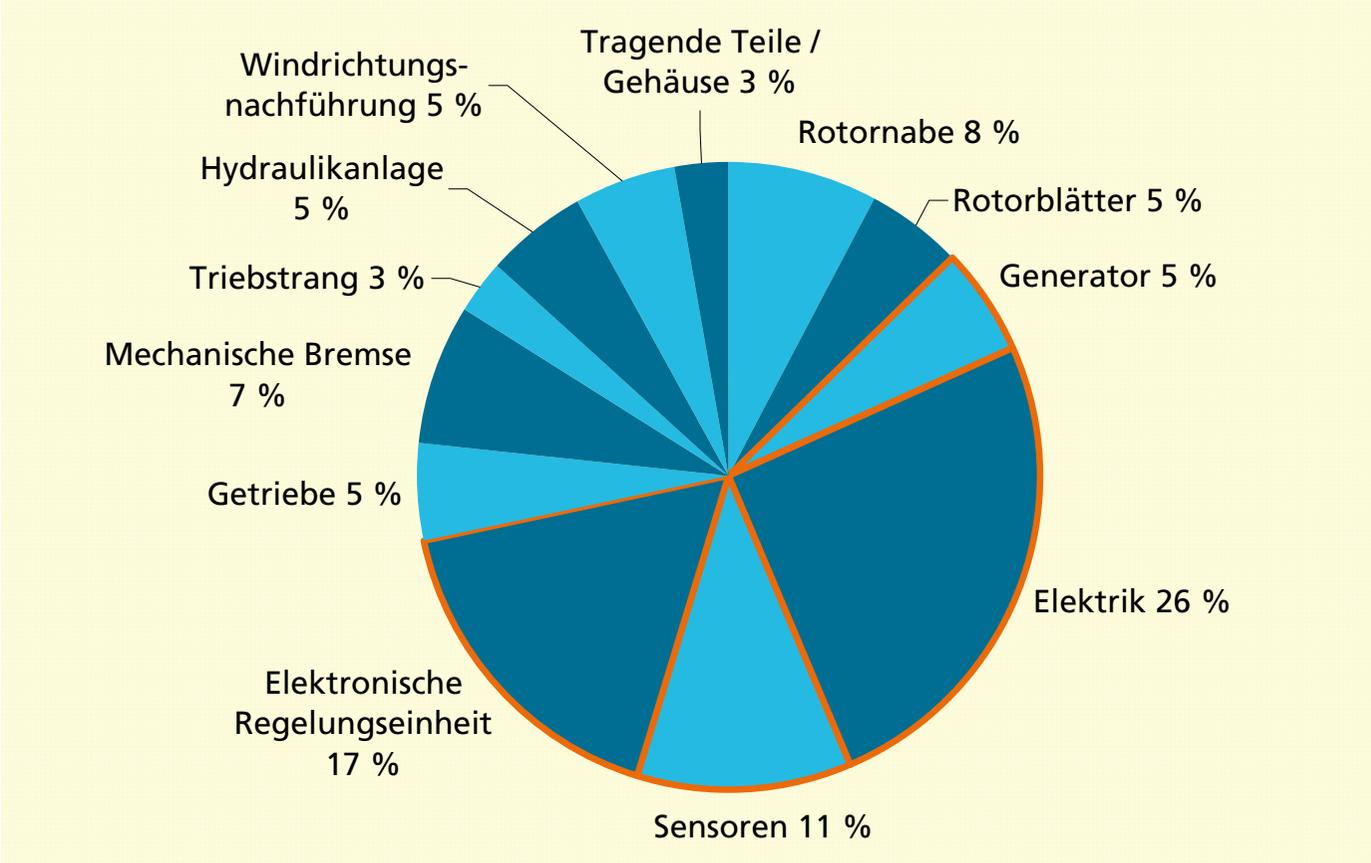
„Stillstand nach Blitzschlag; Elektronik defekt, Drehkranz fest!“

„Windfahne eingefroren!“

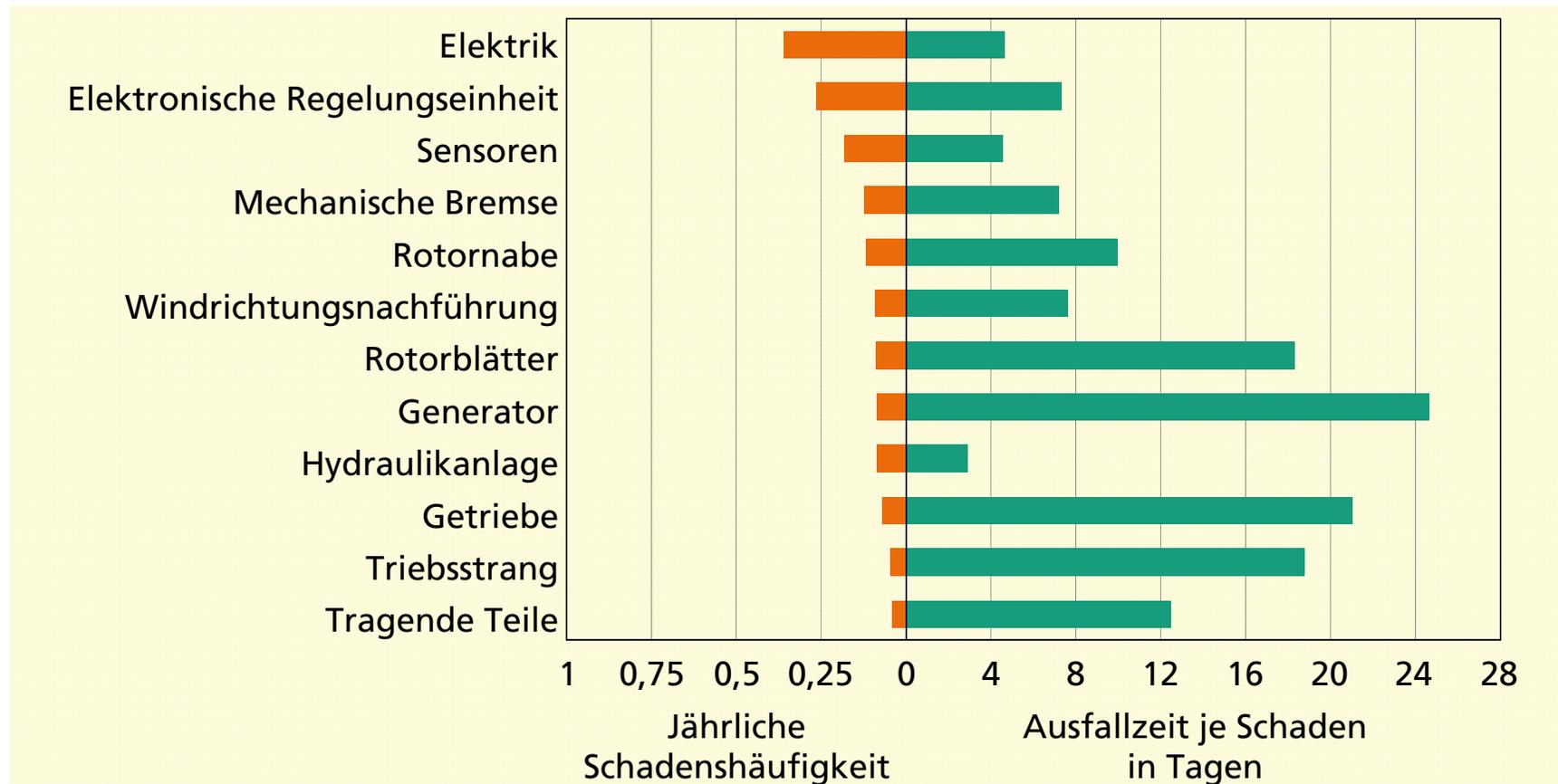
„Windfahne durch Sturm beschädigt. Reparatur vom Betreiber ohne Kosten durchgeführt!“

„Kabel durch Rattenbiß defekt, Stellmotor gewechselt“

Störungsauswirkungen: KWEA



Schadenshäufigkeit von KWEA-Komponenten und zugehörige Ausfallzeiten

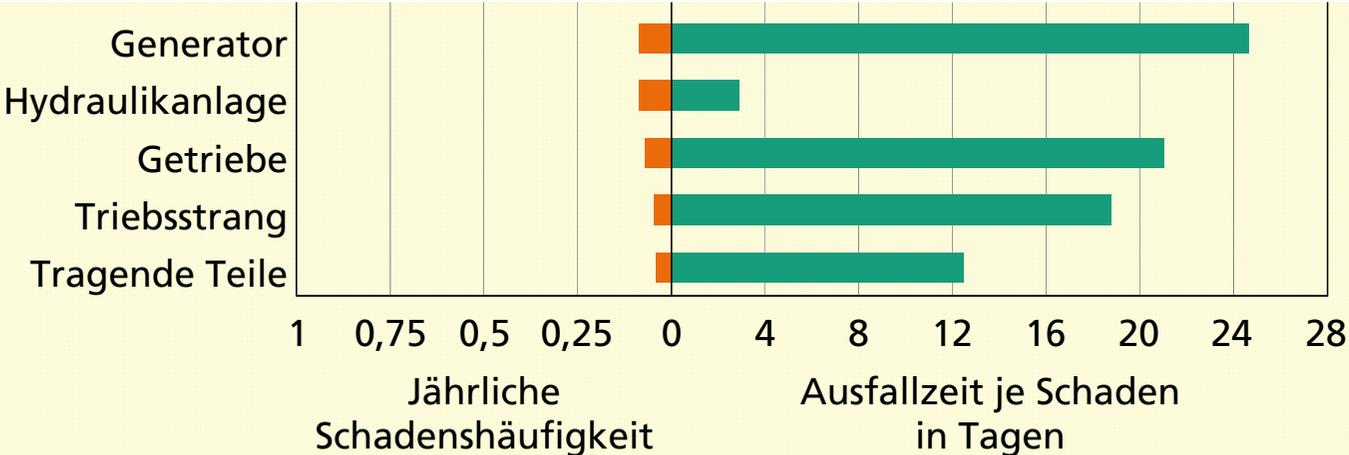


Schadenshäufigkeit von KWEA-Komponenten und zugehörige Ausfallzeiten

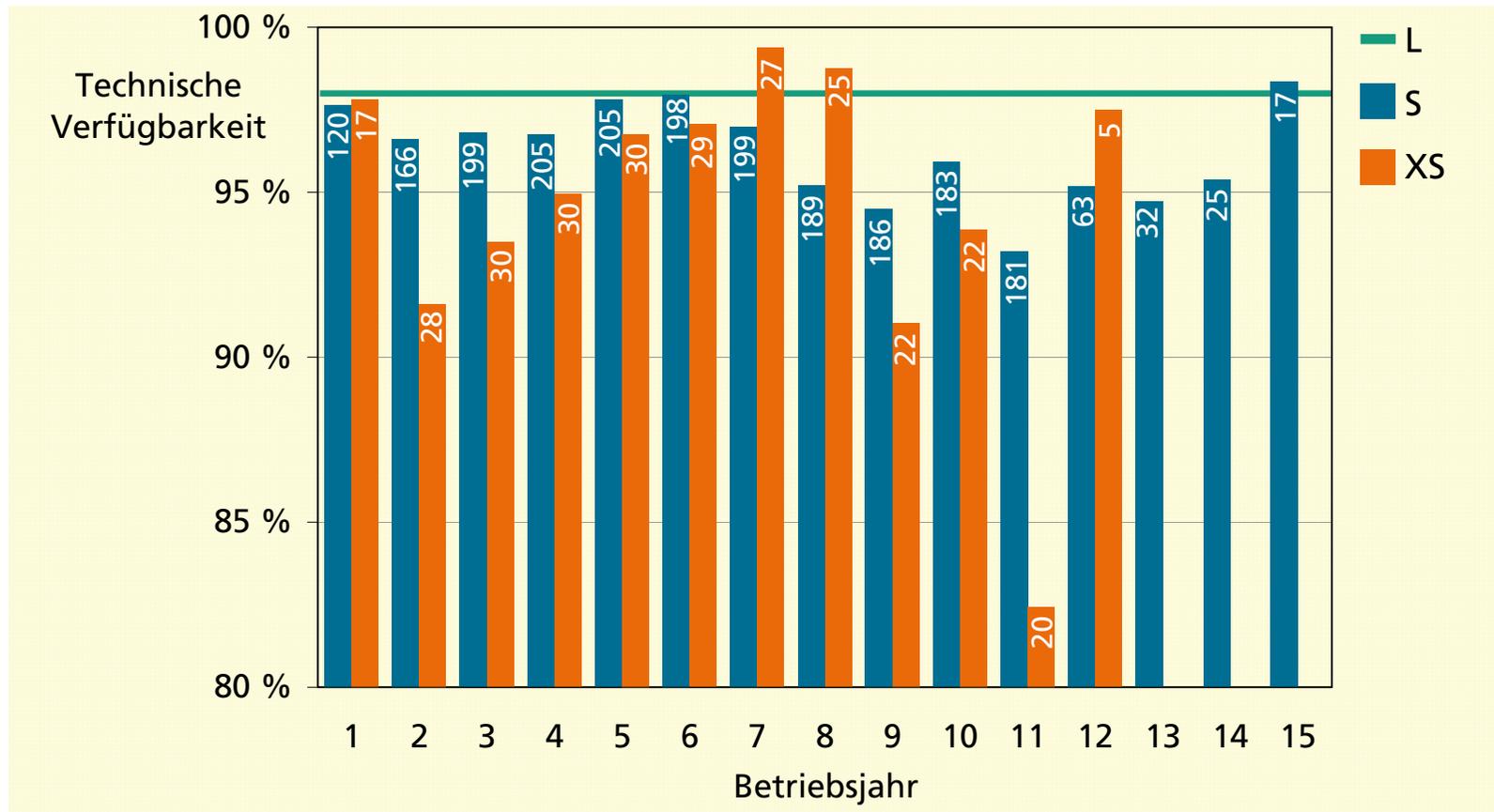
„Totalschaden am Generator! Ersatzteilbeschaffung ist sehr problematisch, wegen Konkurs der Herstellerfirma!“

„Generatortausch! Generator gegen Leihgenerator getauscht (Lieferzeit des neuen Generators fünf Monate)!“

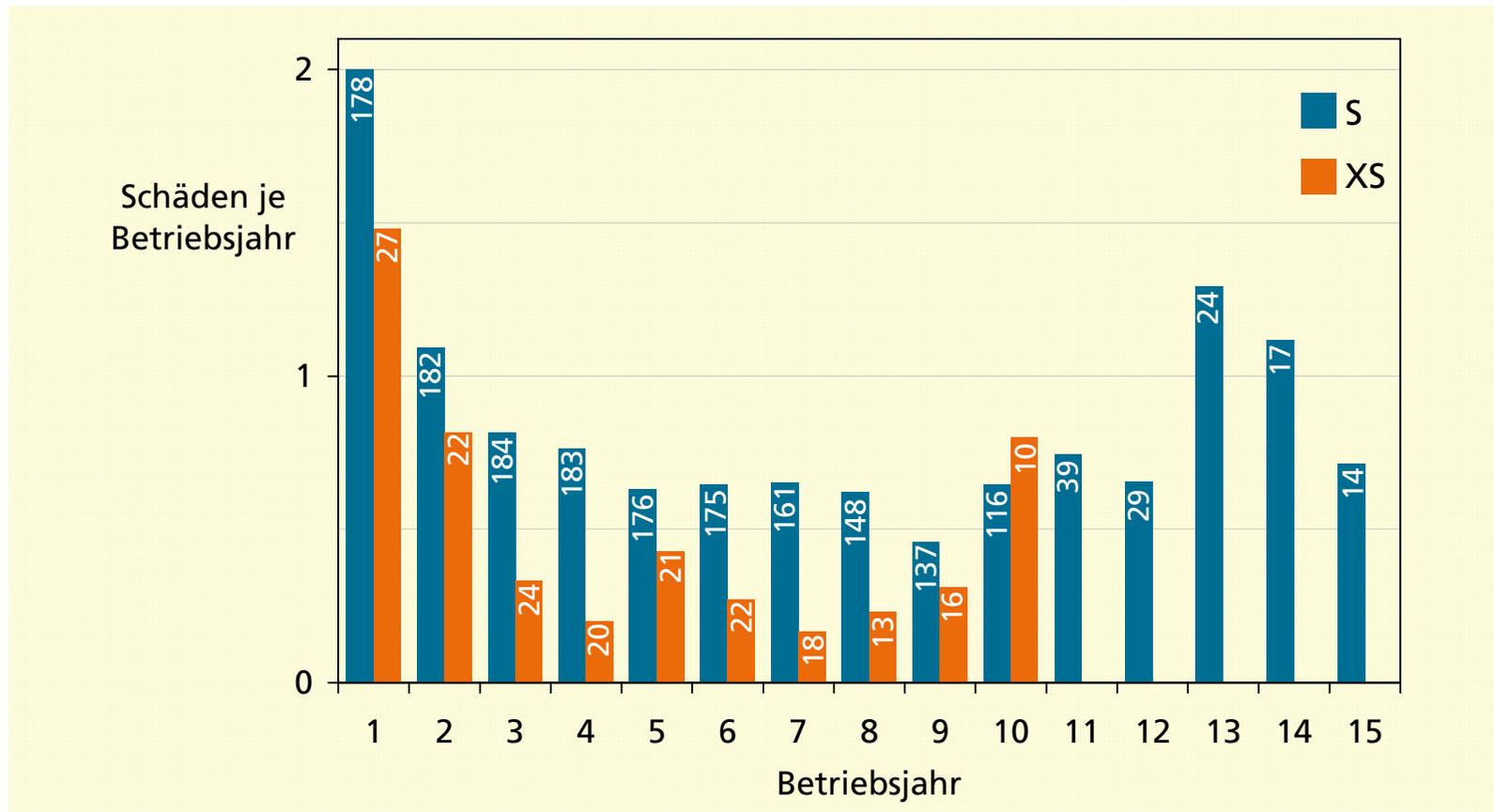
„Anfang Mai hat ein Starenpaar auf dem Bremssattel, Bremsscheibe genistet, wodurch die Leistung der Anlage stark beeinträchtigt wurde. Am 24.06. wurde das Nest entfernt und ein beschädigter Gummipuffer des Blattverstellmechanismus ausgetauscht!“



Technische Verfügbarkeit



Altersabhängige Zuverlässigkeit von KWEA

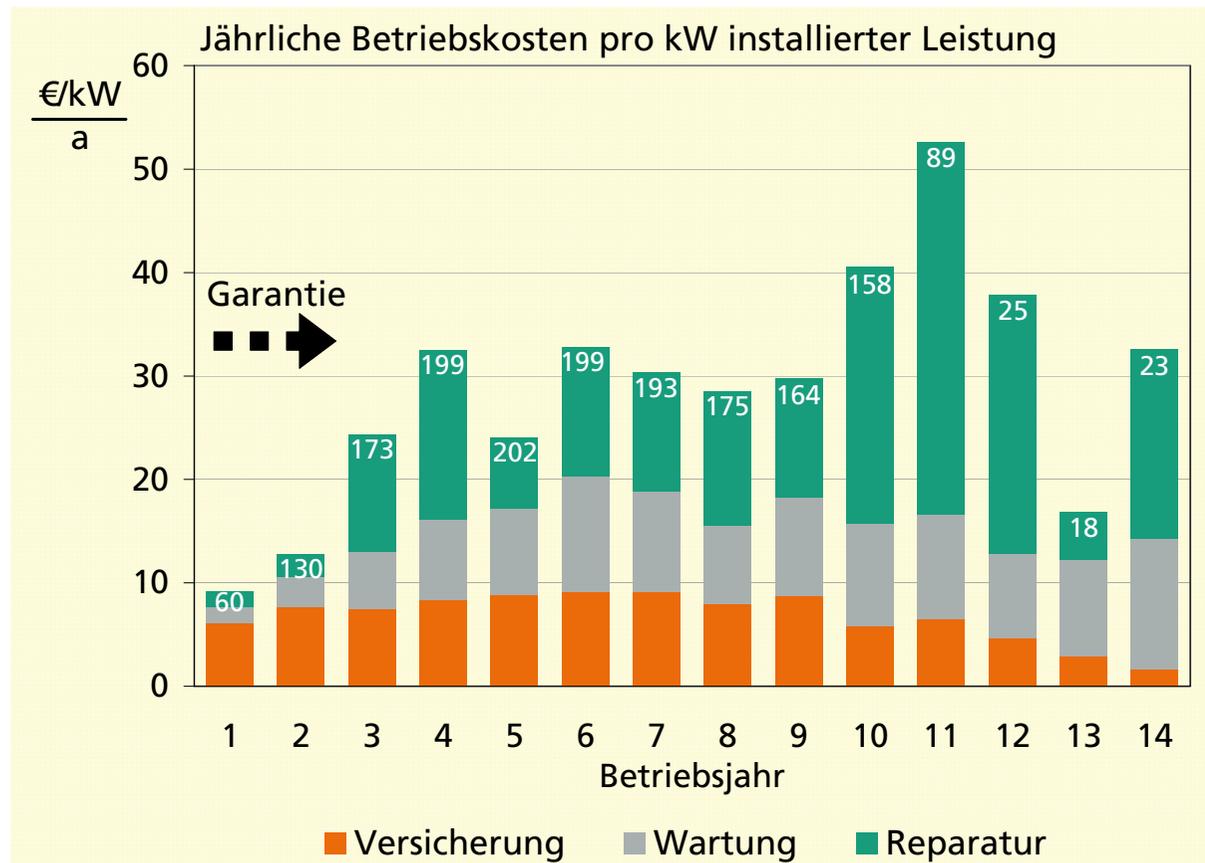


Betreiberbefragung: Lebensdauer & Betrieb (September / Oktober 2009)

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 20 -

	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

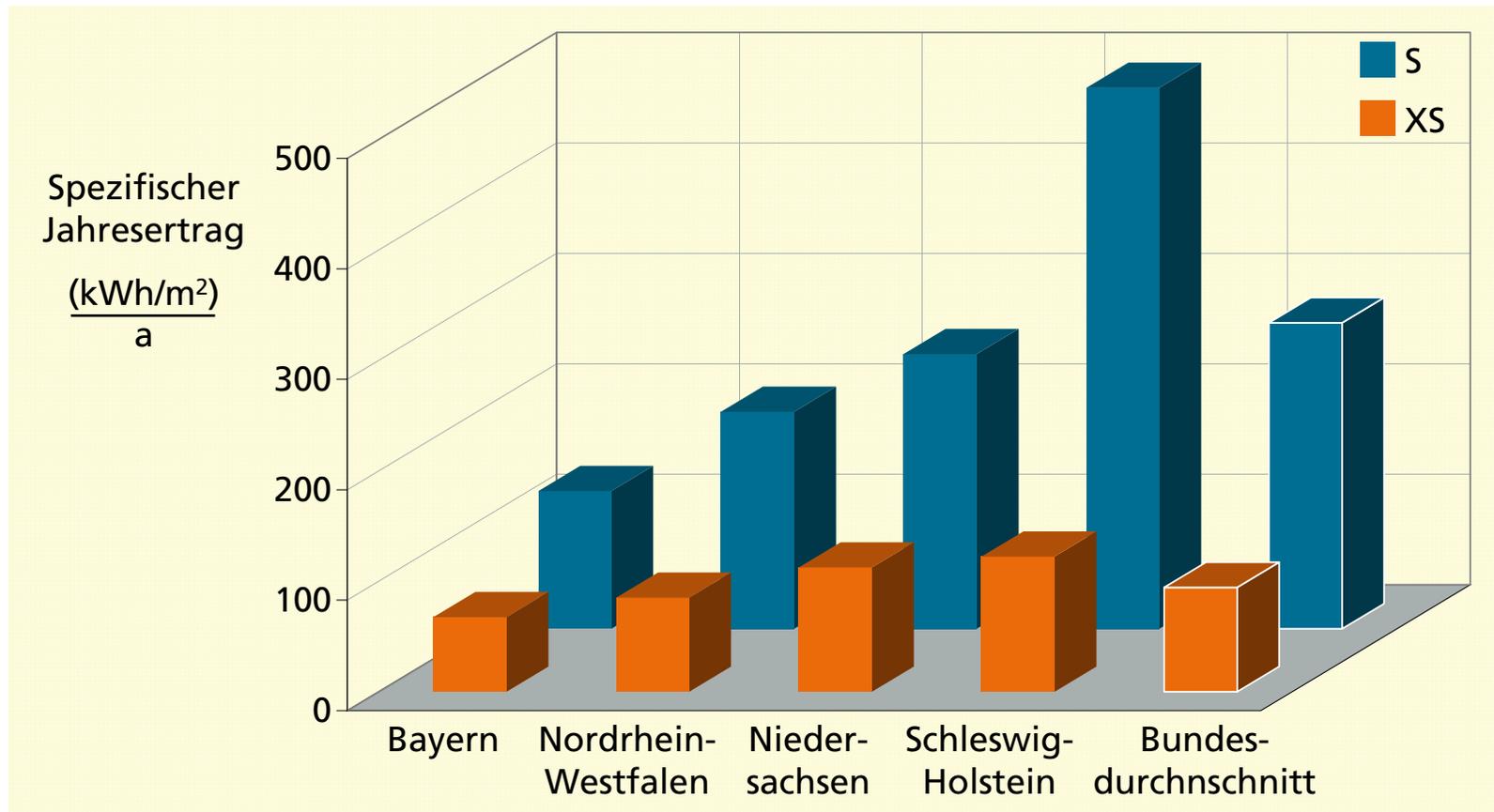


■ Mittlere jährliche Betriebskosten pro kWh Jahresarbeit:

- L: 1,5 c€/kWh
- S: 3,5 c€/kWh
- XS: 16 c€/kWh

Mittlerer flächenspezifischer Jahresertrag von KWEA

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 22 -



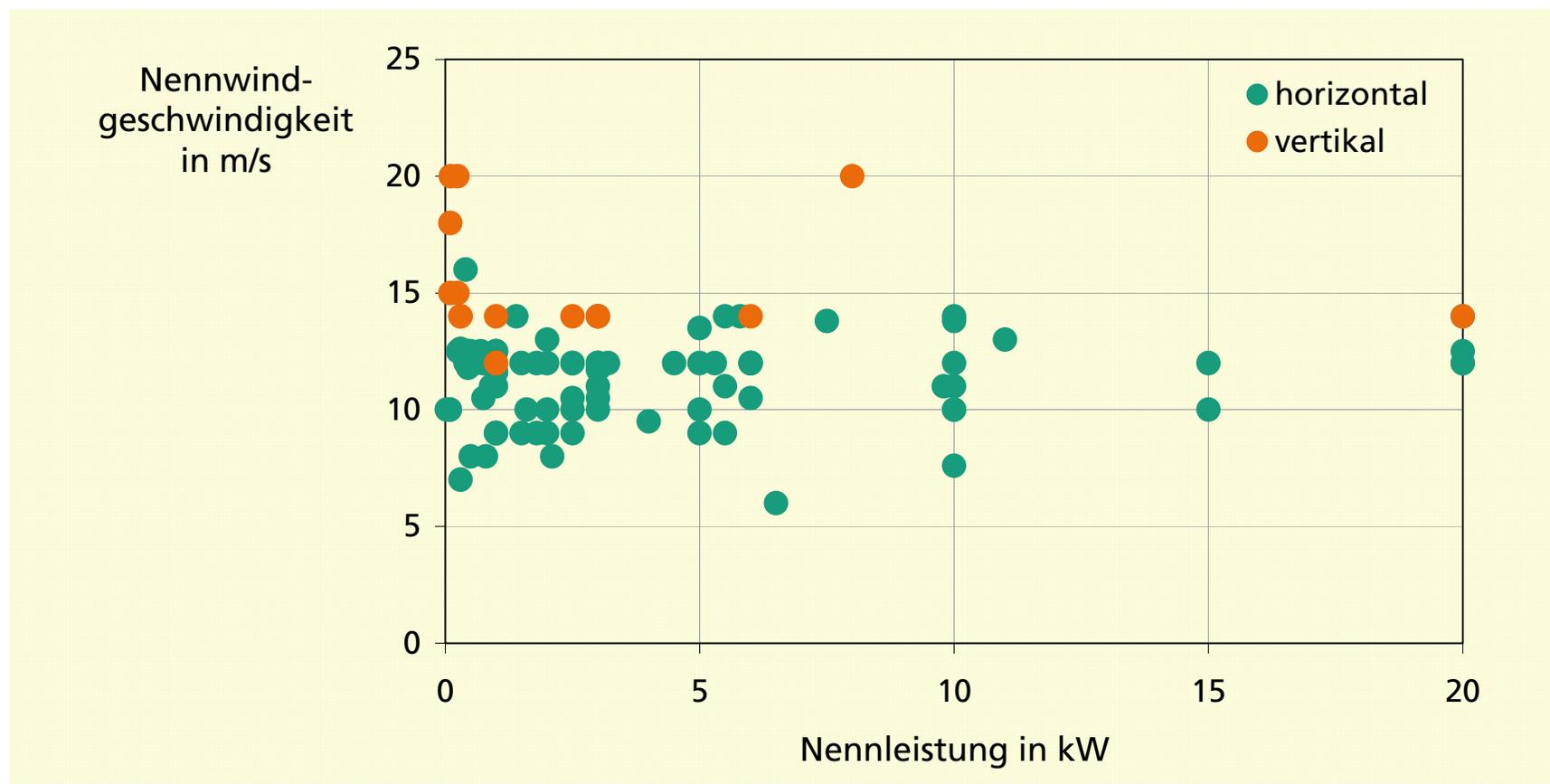
Betreiberbefragung: Zufriedenheit (September / Oktober 2009)

	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

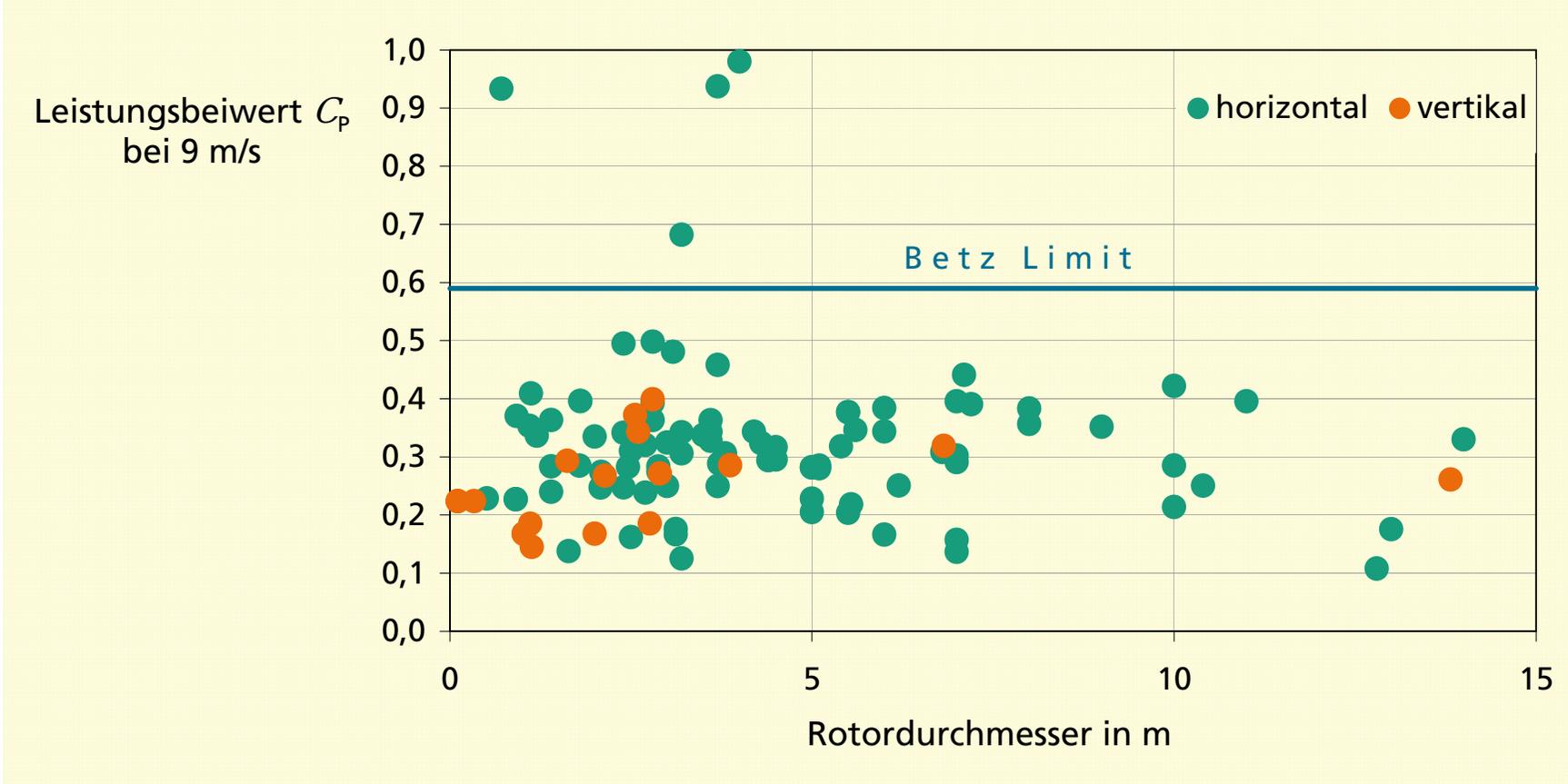
KLEINE WINDENERGIEANLAGEN BETRIEBSERFAHRUNGEN & ERTRAGSABSCHÄTZUNG

1. Einführung
2. Betriebserfahrungen
3. Ertragsabschätzung

Nicht-standardisierte Produktinformationen: Nennwindgeschwindigkeiten aktueller KWEA-Typen



Herstellerangaben: Leistungscharakteristik



Abschätzung des Jahresertrages (AEP): Rotordurchmesser / überstrichene Rotorfläche

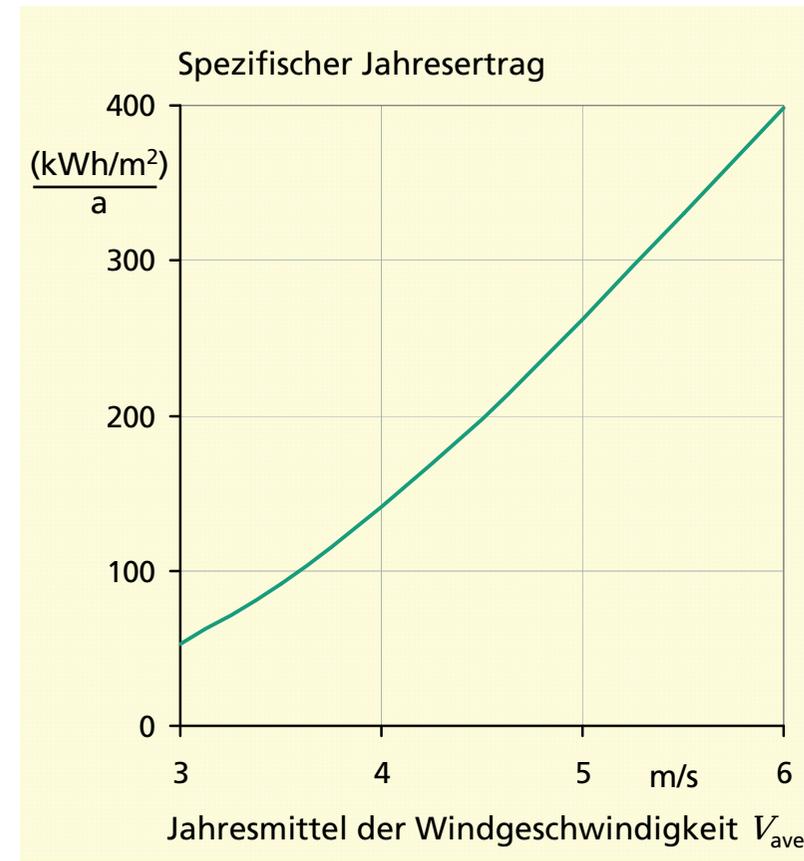
Rotor- durchmesser	Rotor- fläche	Leistung im Wind x 0,3 bei 9 m/s
1 m	0,8 m ²	105 W
3 m	7 m ²	950 W
5 m	20 m ²	2 630 W
7 m	40 m ²	5 150 W
10 m	80 m ²	10 520 W

Beispiel

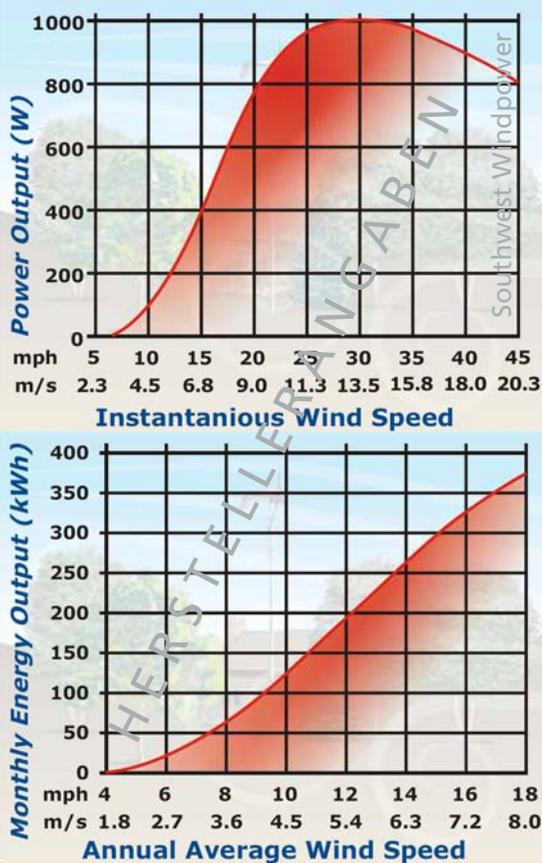
KWEA: $D = 3 \text{ m}$

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

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



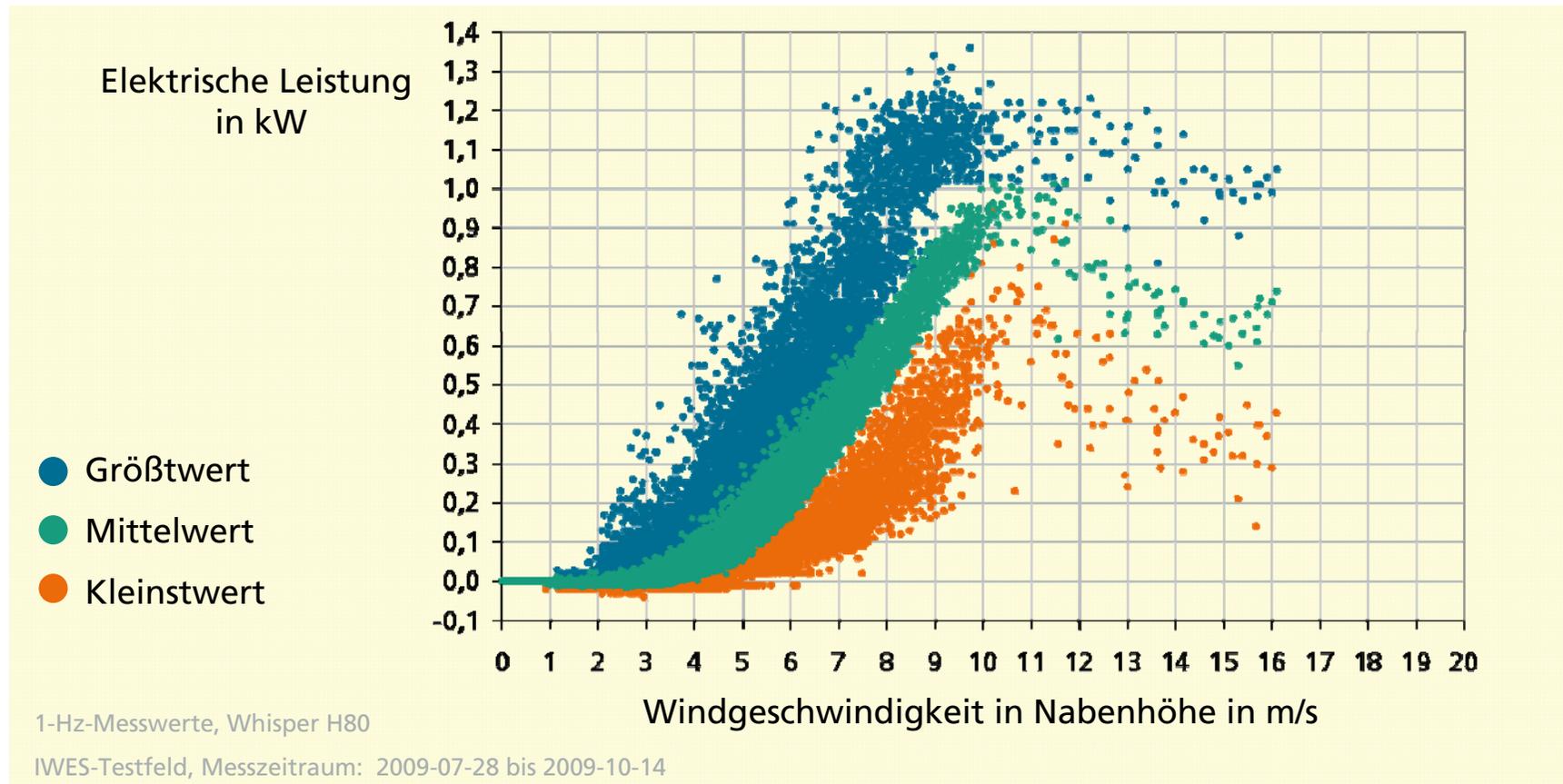
Abschätzung des Jahresertrages: Überprüfung der Leistungscharakteristik einer KWEA auf dem IWES-Testfeld



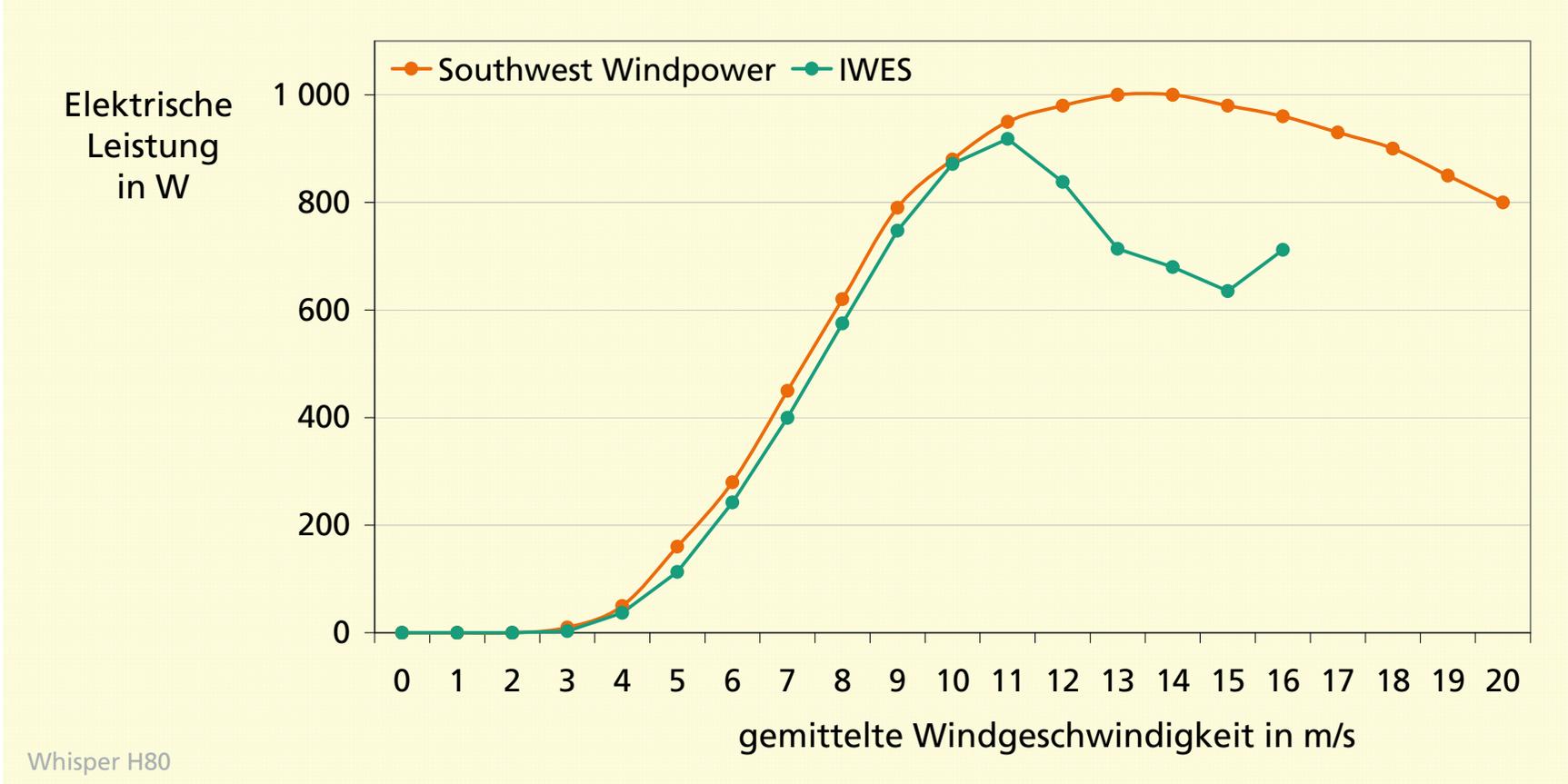
Whisper H80 (Fa. Southwest Windpower) auf dem IWES-Testfeld

Momentanwerte der gemessenen Ausgangsleistung: Whisper H80, Southwest Windpower

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 29 -



Ermittelte Leistungskurve & Leistungskurve des Herstellers



Projektierung einer KWEA

Wie viel Ertrag ist möglich?

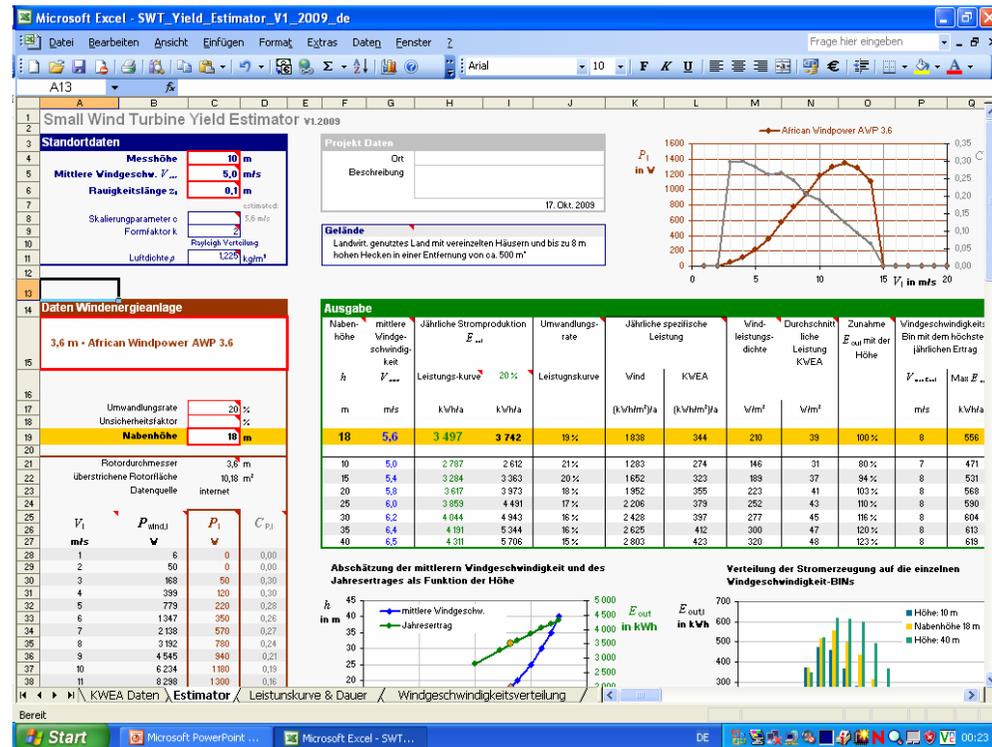
- Bewertung der Windressourcen
 - **Windgeschwindigkeit**, Windrichtung, Windscherung, Turbulenz
- Standortwahl
 - Hindernisse, **Oberflächenrauigkeit**
 - Schattenwurf, Lärmemissionen...
- Dimensionierung
 - **überstrichene Rotorfläche**, maximale Leistung
 - **Turmhöhe**, Abspannradius, Fundament, elektrischer Anschluss
- Wahl des Anlagentyps
 - Produktinformationen, **Leistungscharakteristik**, Referenzen
- Genehmigungen

Small Wind Turbine Yield Estimator

Wie viel Ertrag ist möglich?

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 32 -

Excel-Tool zur Ertragsschätzung
Download: www.renknow.net



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Paul Kühn, 17-Okt-09
- 33 -

