

## Fallbeispiel: Leistungsoptimierung und –monitoring von Windkraftanlagen mittels Spinneranemometrie

Dipl.-Ing. Markus Romberg, STR Consulting & Service, Deutschland  
Dipl.-Ing. Karl Fatrdla, Romo Wind AG, Schweiz



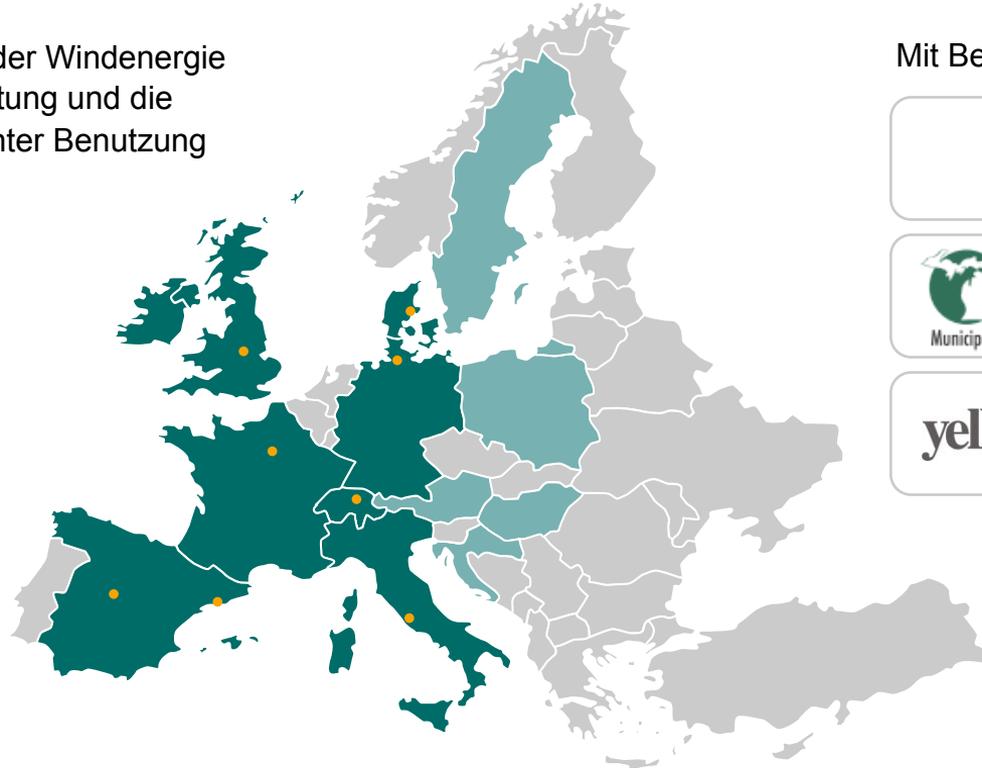
**ROMO WIND**  
WIND KNOWLEDGE IS WIND POWER

Wir sind ein Technologieunternehmen der Windenergie mit Fokus auf die Optimierung der Leistung und die Überwachung von Windkraftanlagen unter Benutzung der patentierten iSpin Technologie.

## ROMO Wind Deutschland GmbH

Christoph-Probst-Weg 3  
D-20251 Hamburg  
Tel.: +49 40 46093944  
[sales@romowind.com](mailto:sales@romowind.com)

Weitere Niederlassungen in  
Dänemark, Großbritannien,  
Frankreich, Italien, Irland,  
Spanien und Schweiz.



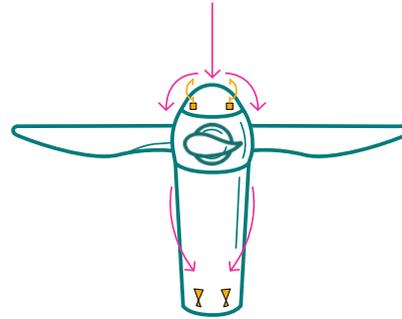
Mit Beteiligung von

**ABB**

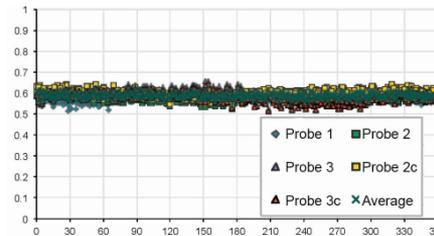
 **MERS**  
Municipal Employees' Retirement System

**yellow & blue**

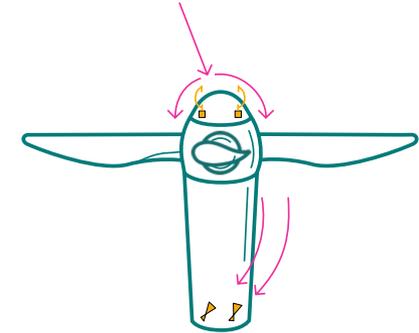
# Funktionsweise des Spinner-Anemometers



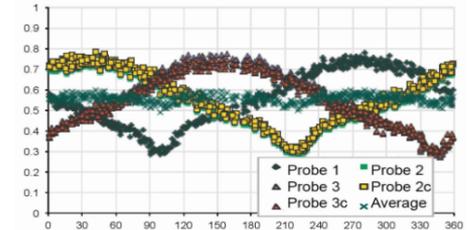
**0 Grad Fehlausrichtung**



Gemessene Windgeschwindigkeit der 3 Sensoren bei Windrichtung  $90^\circ$  zur Rotorfläche



**38 Grad Fehlausrichtung**



Gemessene Windgeschwindigkeit der 3 Sensoren bei Fehlausrichtung



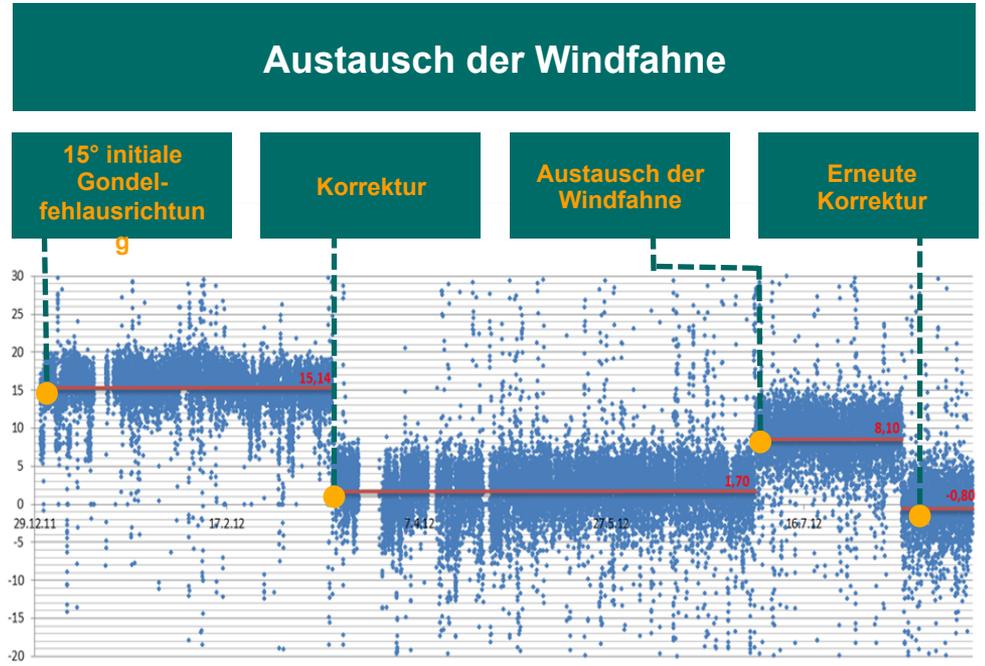
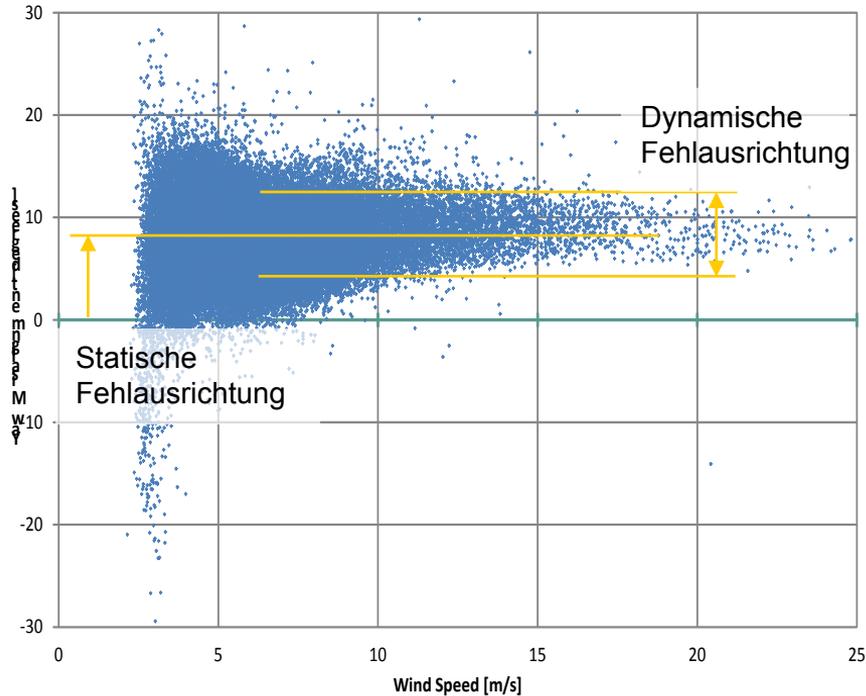
- Erfunden und entwickelt an der **DTU / RISØ in Dänemark seit 2004**
- Innovative Anwendung der **bewährten Ultraschallmesstechnologie**
- Seit April 2013: **IEC 61400-12-2 Standard zur Leistungsvermessung**
- Industrielle Entwicklung und **Anwendung durch ROMO Wind seit 2011**
- **Was wir messen:**

Standard:

- Windgeschwindigkeit (Rotorgeschwindigkeit und "freier" Wind)
- Gondelfehlausrichtung
- Schräganströmungswinkel
- Turbulenzintensität
- Temperatur

Mit Add-on Modulen (Lufttemperatur-, Luftdruck- und Positionssensor):

- Luftdichte
- Gondelausrichtung
- Elektrische Leistung der Windenergieanlage vom SCADA-System

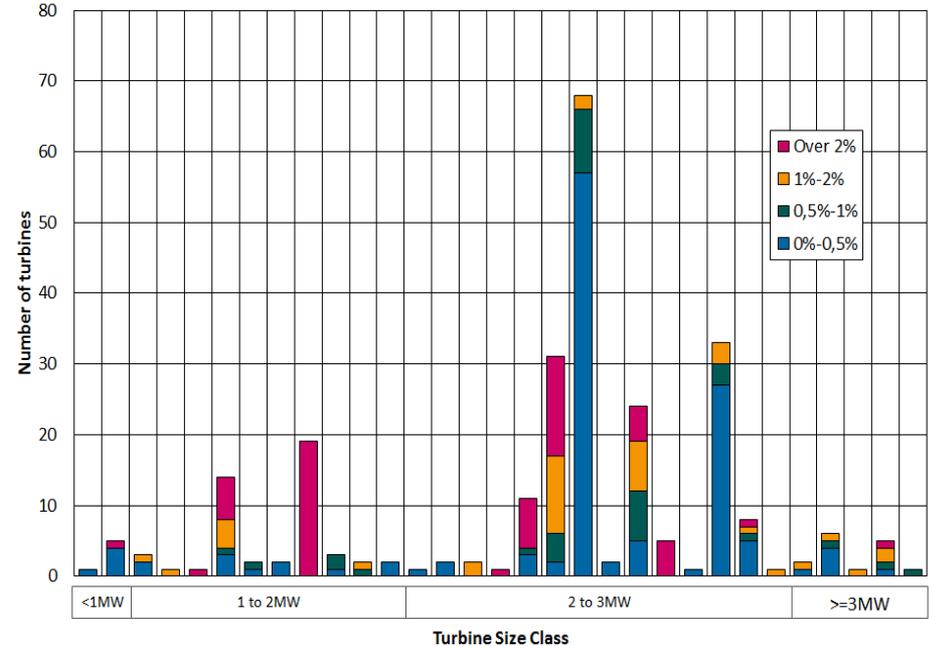


# Statische Gondelfehlausrichtungen – ein weit verbreitetes Problem

## Die ROMO Wind Auswertung zur statischen Gondelfehlausrichtung (266 WEAs)

Statische Fehlausrichtung	<4°	4° - 8°	8°-12°	12°-16°	>16°
Verteilung	48%	28%	14%	5%	5%

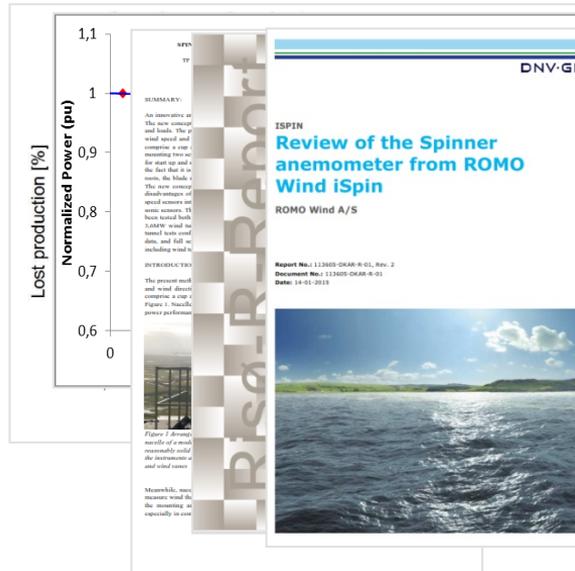
→ Durchschnittlich **1.98% Mehrertrag**  
durch die Korrektur von Gondelfehlausrichtungen



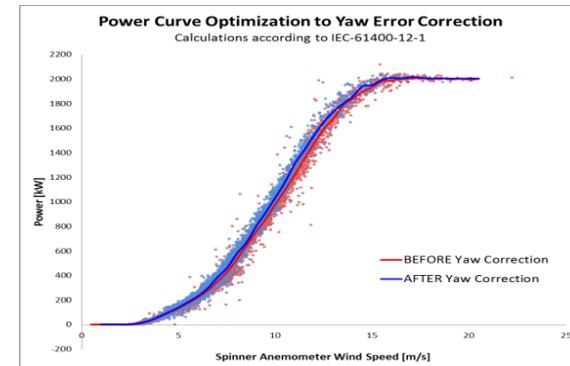
# Gondelfehlausrichtung = geringerer Ertrag

Mittlere Fehl- ausrichtung	Ertragsverlust
4°	0,5%
6°	1,1%
8°	1,9%
10°	3,0%
12°	4,3%
14°	5,9%
16°	7,6%
18°	9,5%

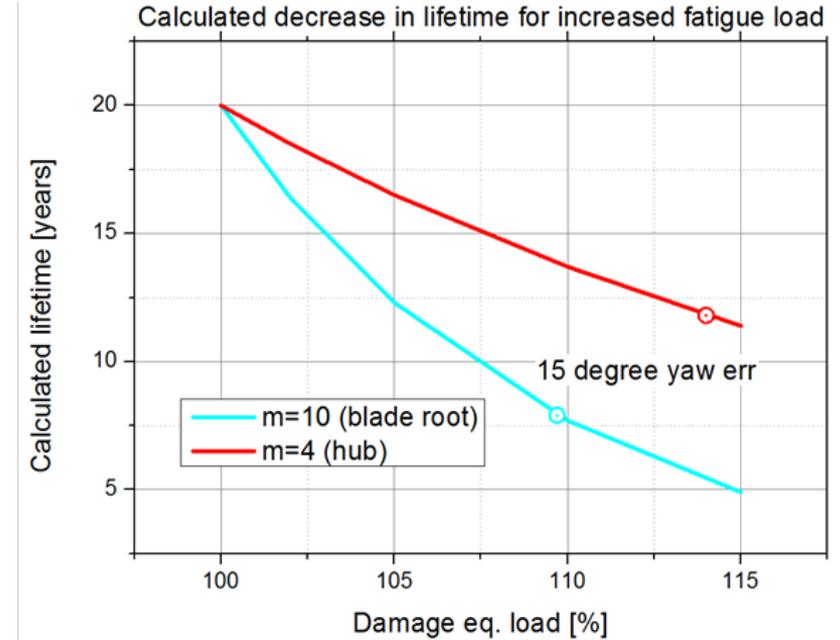
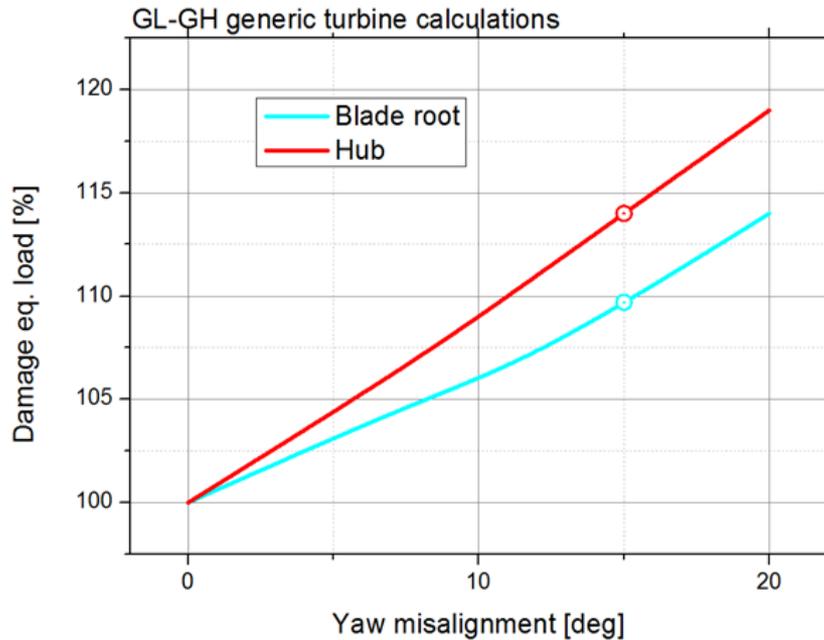
## Wissenschaftlicher Beweis



## Relativer Leistungskurvenvergleich



# Gondelfehlausrichtung = höhere Lasten



# Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung

# REPOWER

Produktion Deutschland managed by **STZ**



Anlage	Leistung (MW)	Technik	Eigentum
 Prettin	10	5 Enercon E70-E4	100 % Repartner
 Lübbenau	16	8 Vestas V90 VCS	100 % Repartner

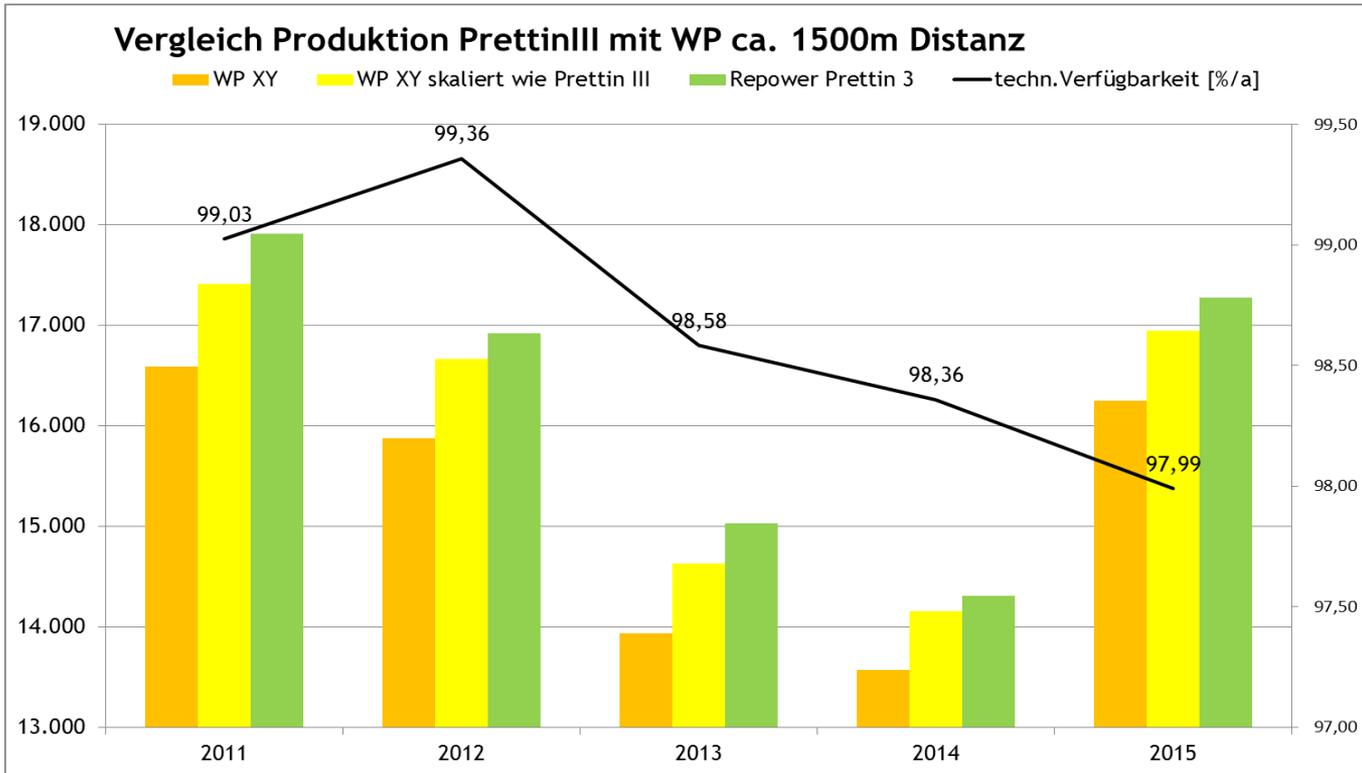


# Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung

## **REPOWER** Management & Maßnahmen 2013 + 2014 + 2015

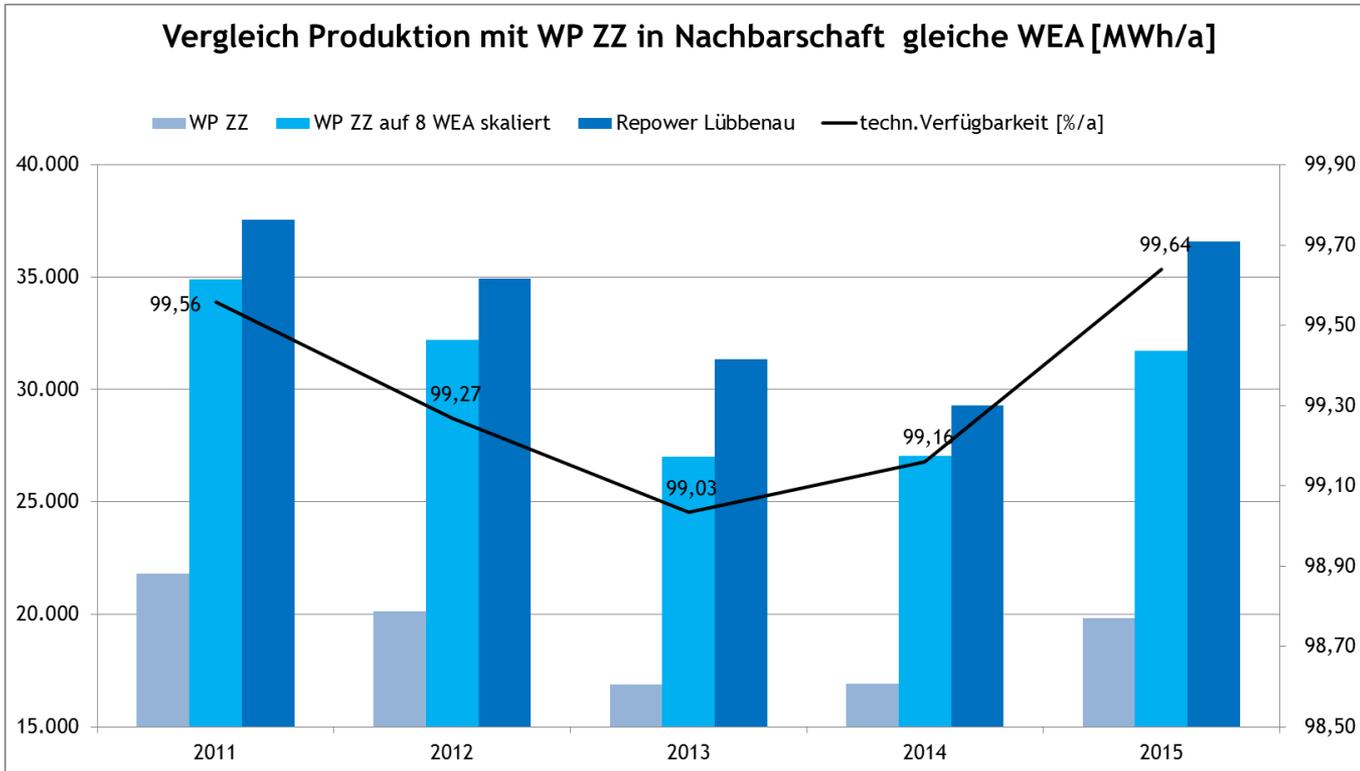
Zeitaufwand	«Robust machen für 40 Jahre Betrieb»		Wirkung
25%	<b>Kommerziell</b>	Verlängerung Nutzungsverträge und Pachten	5% midterm
20%	<b>Optimierung</b>	Steigerung technische Verfügbarkeit Überprüfung Windnachführung der Turbinen Senkung Eigenbedarf & Stillstandsverbrauch	60% shortterm
50%	<b>Betrieb</b>	Online Monitoring & Betriebsdatenanalyse	30% longterm
5%	<b>Infrastruktur</b>	Netzwerkarbeit & Öffentlichkeitsarbeit	5% StateOfArt

# Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung



# Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung

## REPOWER



# Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung



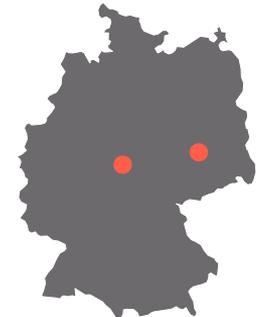
STR consulting & service GmbH



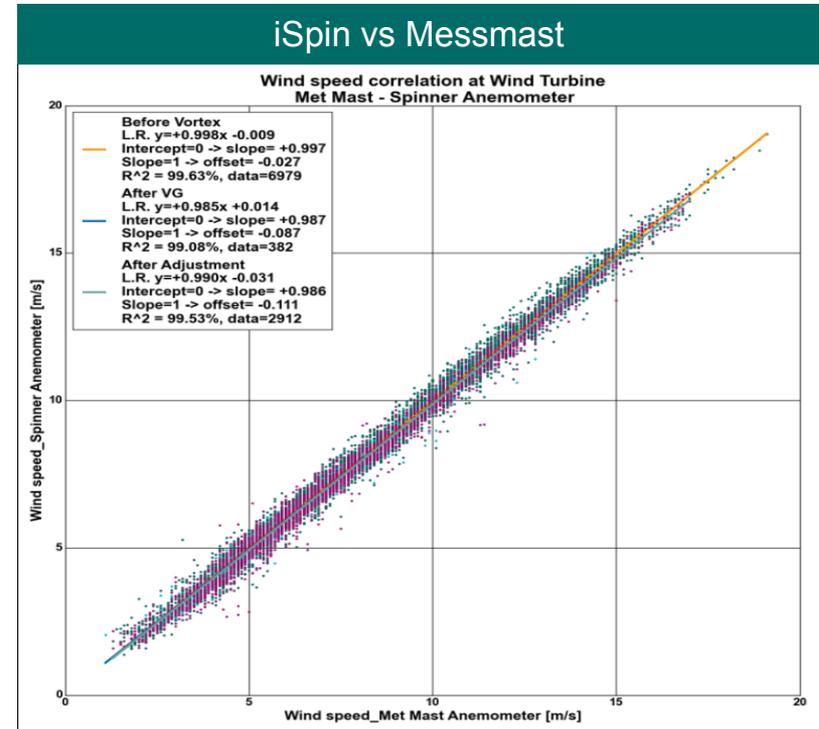
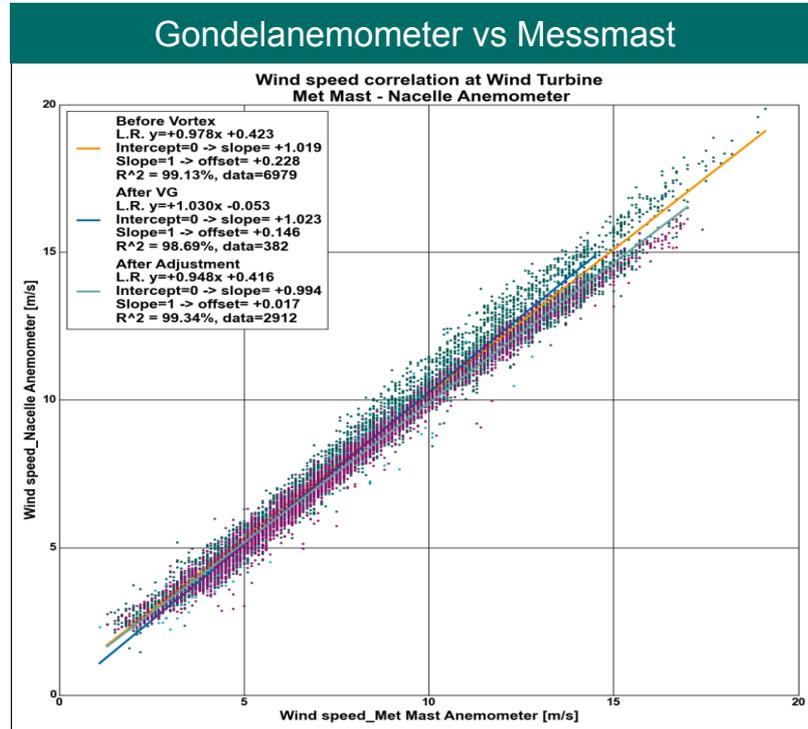
Enercon	10	5 Enercon E70-E2	100 % Privat
Noch in Verhandlung	7,5	5 WEA 1,5 MW-ler	100 % Investor

## Erster Eindruck:

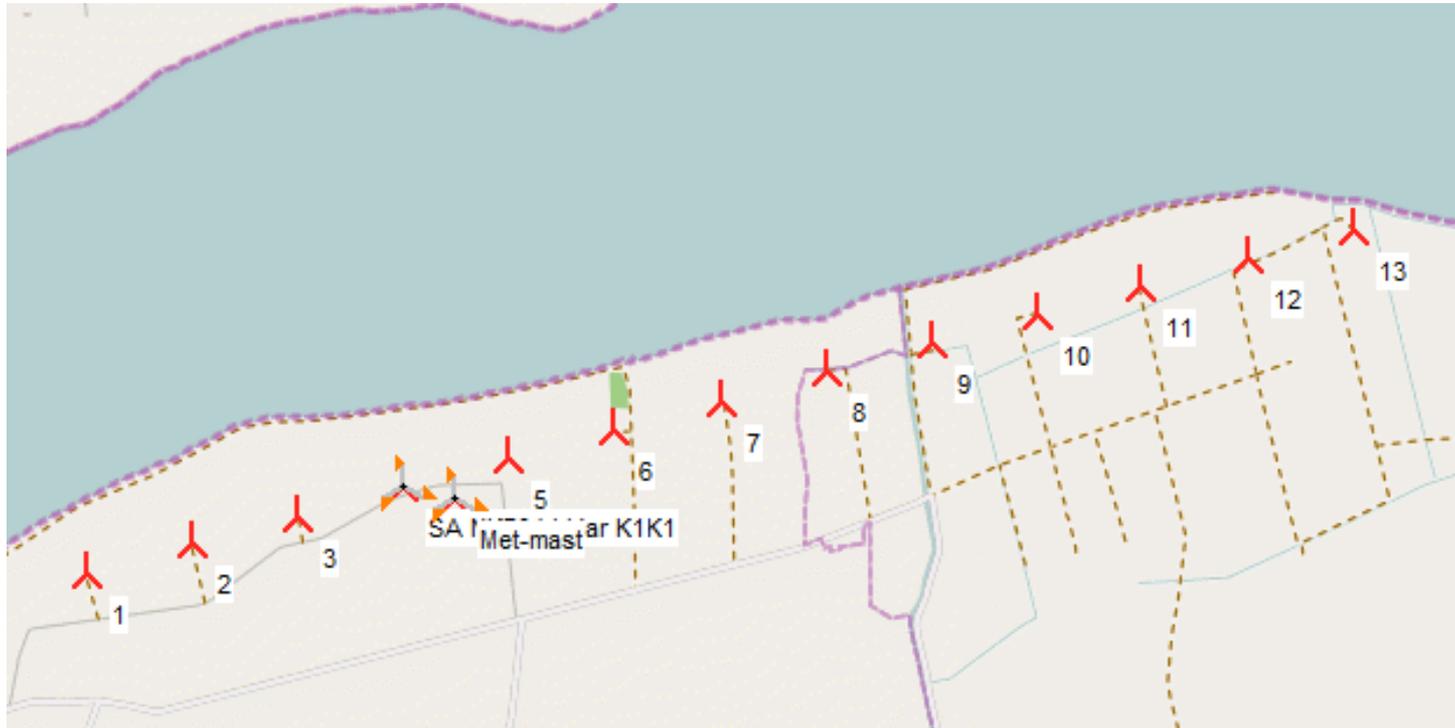
1. Fehlstellung WEA
2. Rotorblattschäden
3. Trafohaus zu warm



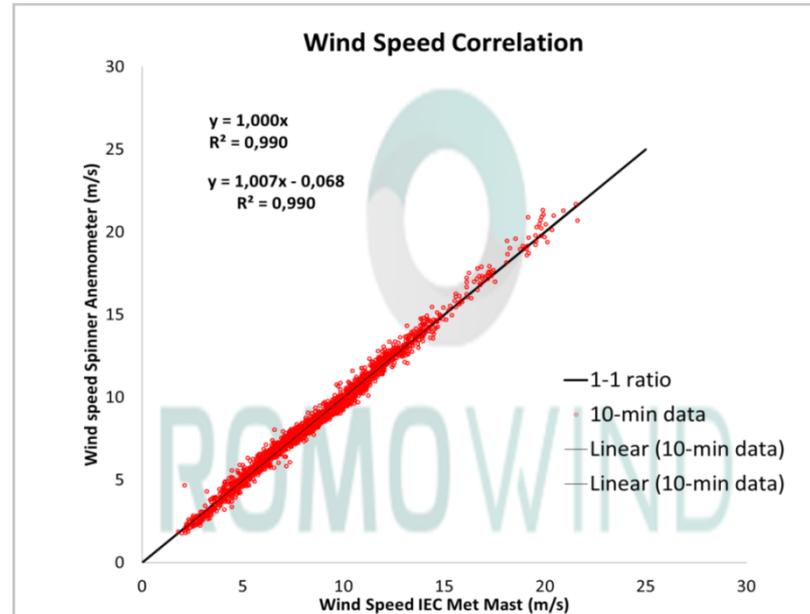
# iSpin-Messungen sind unbeeinflusst von Vortex-Generator-Installation oder Fehlausrichtungskorrektur



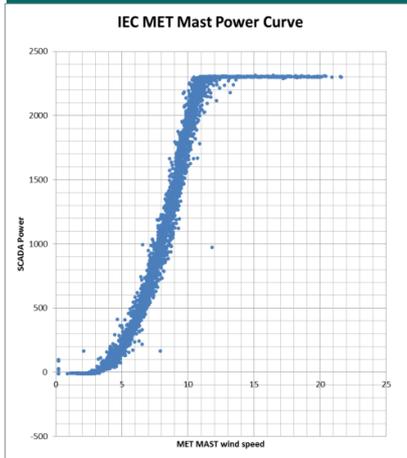
# Leistungskurvenvermessung Fallbeispiel 3: Nörreker Enge - Vattenfall



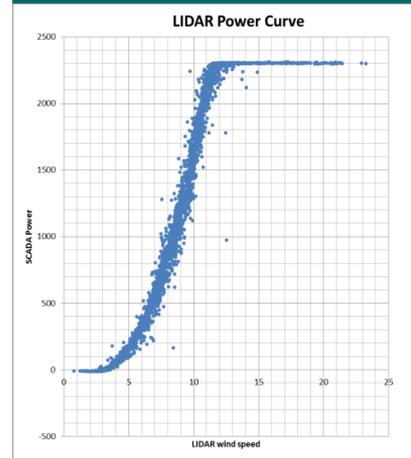
# Korrelation: Messmast - iSpin



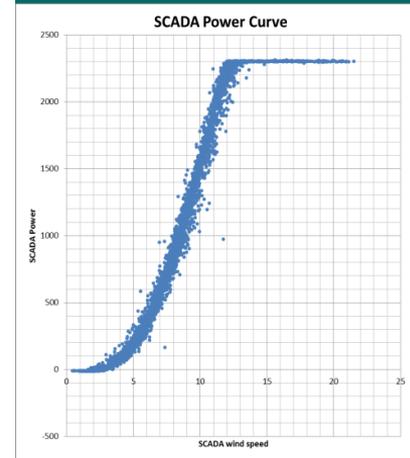
## Met mast



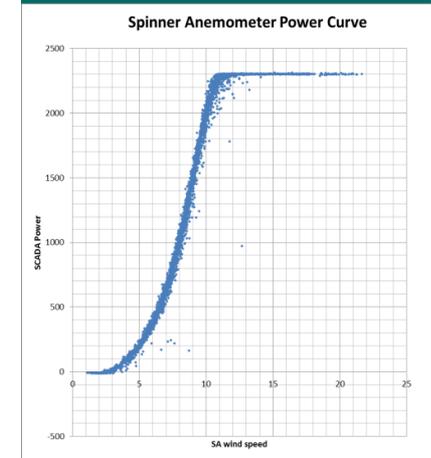
## Nacelle based LiDAR



## Nacelle anemometer



## iSpin



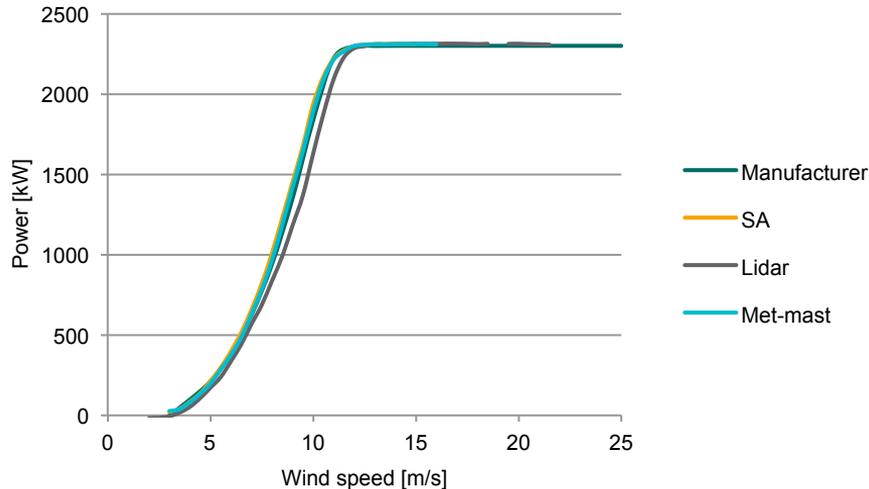
Vorwärtsgerichtete Vermessung

Lokale Vermessung

**Gefiltert nach IEC Standard: Nachlauf, Luftdichte und IEC**

**iSpin zeigt 30% weniger Streuung als jedes andere Messverfahren incl. dem IEC Messmast und dem Lidar**

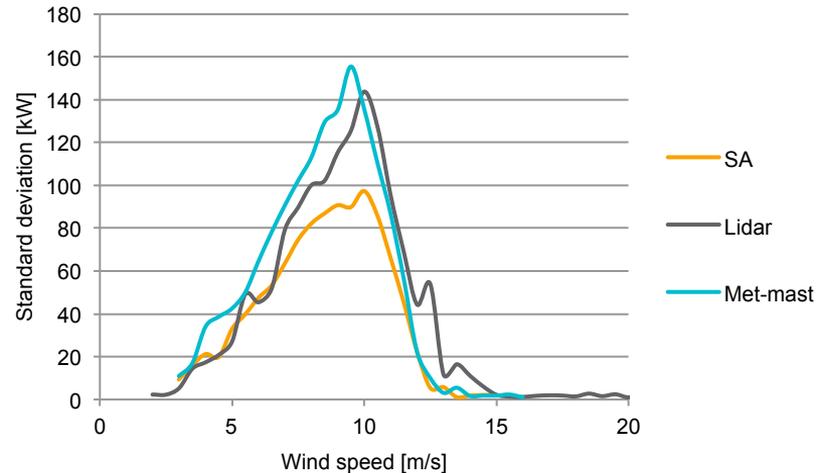
# Leistungskurven und ihre Streuung(std. dev.) in freier Anströmung: 101 – 229 deg



Vergleich mit dem IEC Messmast:

iSpin 2 IEC:  $\Delta = 0,4 \%$

Lidar 2 IEC:  $\Delta = -7,7 \%$



Vergleich mit der garantierten Leistungskurve:

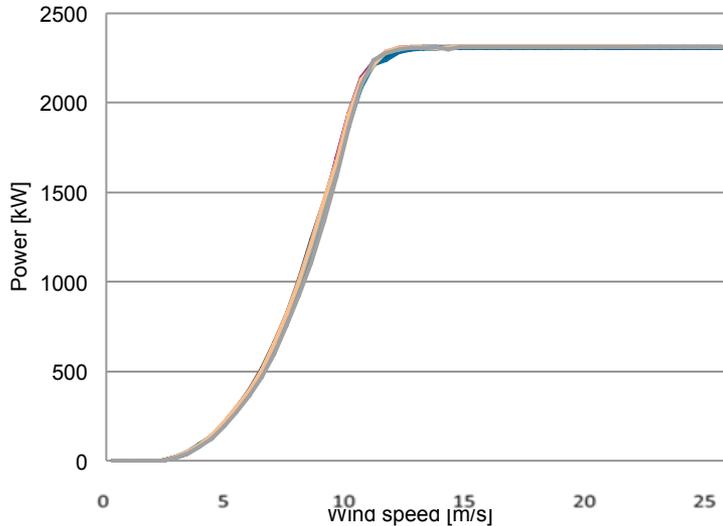
IEC 2  $PC_w$ :  $\Delta = 1,2 \%$

iSpin 2  $PC_w$ :  $\Delta = 1,6 \%$

Lidar 2  $PC_w$ :  $\Delta = -6,5 \%$

# Leistungskurven - freie Anströmung: 101 – 229 deg

Power curves - undisturbed inflow



- NKE02, AEP=9.196 GWh, 1.10% w.r.t MF
- NKE03, AEP=9.189 GWh, 1.02% w.r.t MF
- NKE04, AEP=9.244 GWh, 1.63% w.r.t MF
- NKE05, AEP=9.260 GWh, 1.81% w.r.t MF
- NKE06, AEP=9.077 GWh, -0.20% w.r.t MF
- NKE10, AEP=9.198 GWh, 0.12% w.r.t MF
- NKE11, AEP=9.130 GWh, 0.38% w.r.t MF
- NKE12, AEP=9.292 GWh, 2.16% w.r.t MF
- NKE13, AEP=9.0167 GWh, -0.88% w.r.t MF
- Manufacturer (MF) power curve

Leistungskurven für die WEA:  
2,3,4,5,6,10,11,12,13

WEA 7,8,9 im Schallreduziertem  
mode – verschiedene  
Leistungskurven.  
WEA 1 mit anderer Installationsweise.

Data

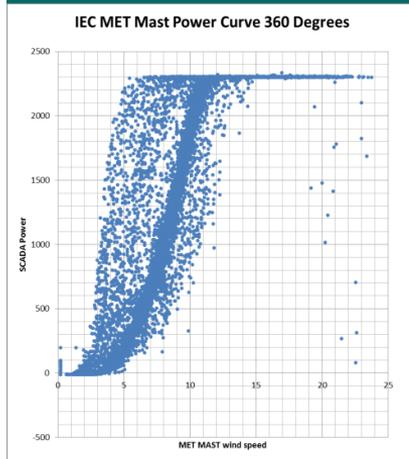
#2,3,4,5,6: 7 Sep -> 22 Oct 2015

#1,10,11,12: 23 Sep -> 22 Oct 2015

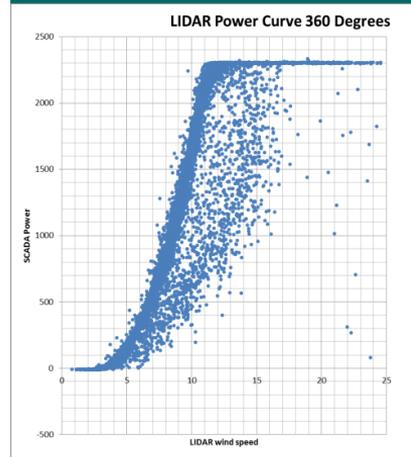
Vergleich mit dem IEC Messmast:  
iSpin 2 IEC:  $\Delta_{av.} = 0,4 \%$ ;  $\Delta_{max} = 1,0 \%$

Vergleich mit der garantierten Leistungskurve:  
iSpin 2 PC<sub>w</sub>:  $\Delta_{av.} = 1,3 \%$ ;  $\Delta_{max} = 2,2 \%$   
(except for NKE01 where sensor mounting was slightly different, 4.7%)

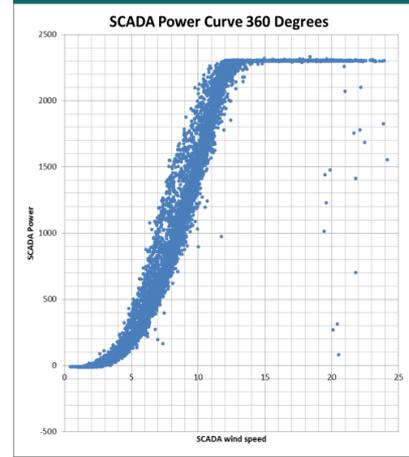
## Met mast



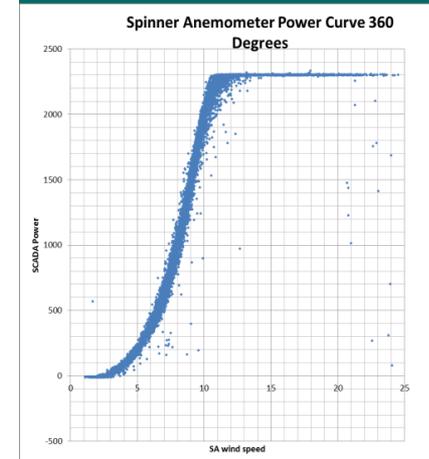
## Nacelle based LiDAR



## Nacelle anemometer



## iSpin

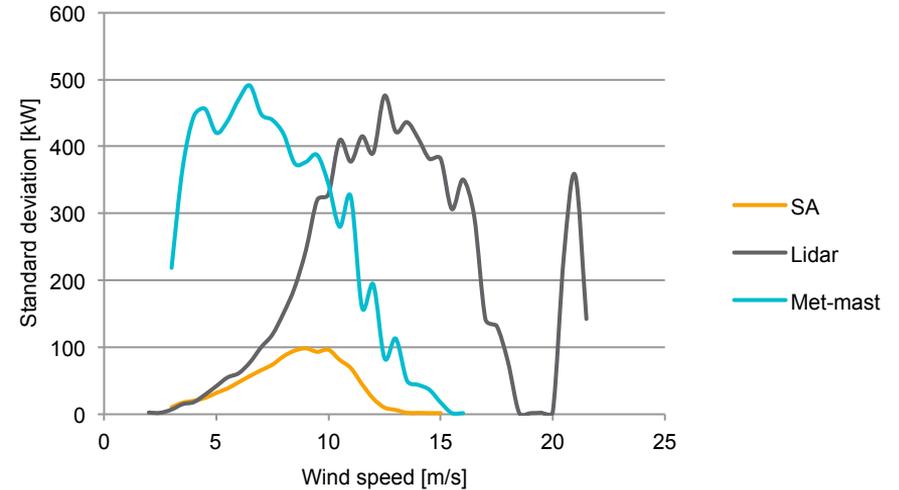
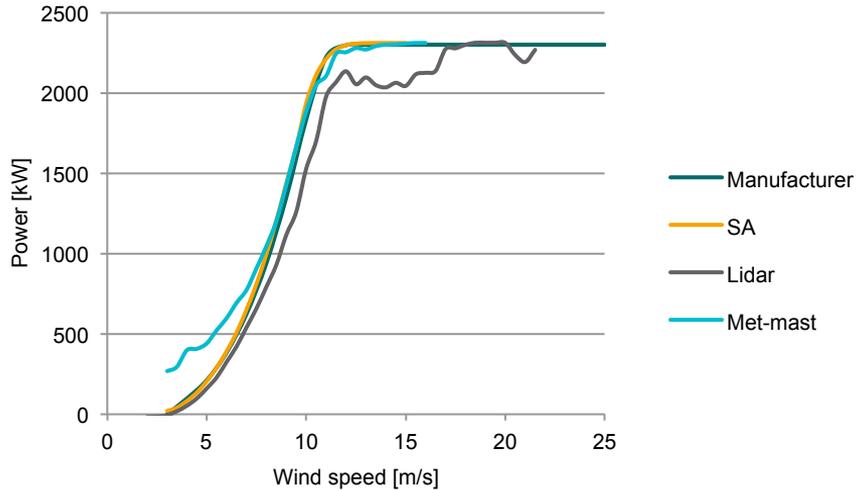


Vorwärtsgerichtete Messungen

Lokale Messungen

**Keine Filter für spezielle Sektoren oder dem Nachlauf.**

# Leistungskurven und Streuung (std. dev.) 360°: 0 – 360 deg



Vergleich mit dem IEC Messmast:

iSpin 2 IEC\*:  $\Delta = 0,1 \%$

\*... IEC compliant in the free wind sectors only

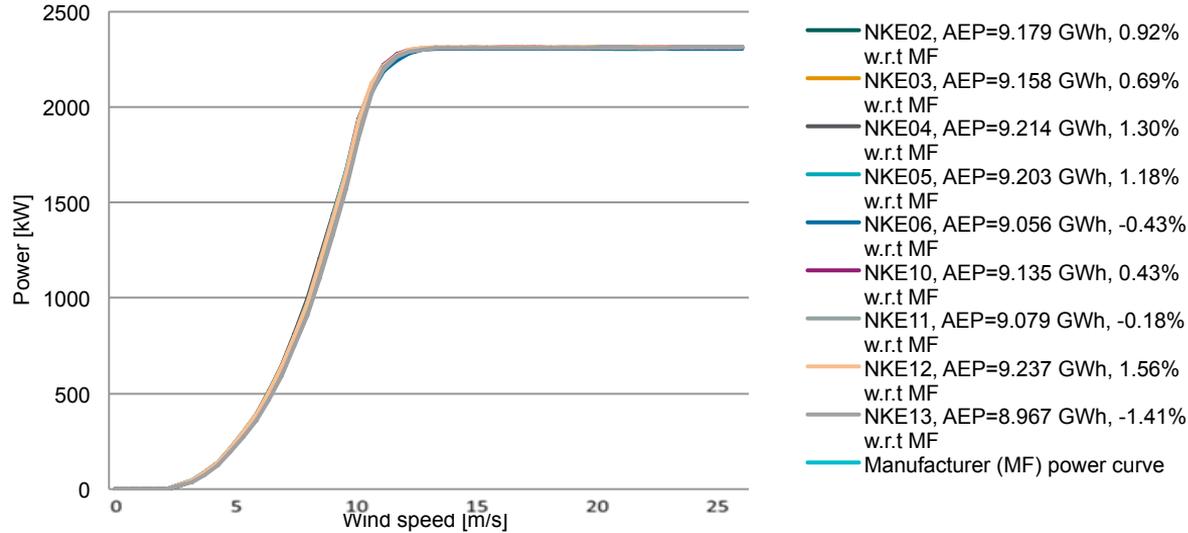
Vergleich mit der garantierten Leistungskurve:

iSpin 2  $PC_W$ \*:  $\Delta = 1,63 \%$

\*... IEC compliant in the free wind sectors only

# Power curves 0–360 deg including wakes

Power curves 0-360 deg including wakes



Leistungskurven für die WEA:  
2,3,4,5,6,10,11,12,13

WEA 7,8,9 im Schallreduziertem mode –  
verschiedene Leistungskurven.  
WEA 1 mit anderer Installationsweise.

## Data

#2,3,4,5,6: 7 Sep -> 22 Oct 2015

#1,10,11,12: 23 Sep -> 22 Oct 2015

Vergleich mit dem IEC Messmast:

iSpin 2 IEC:  $\Delta_{av.} = -0,3 \%$ ;  $\Delta_{max} = 0,4 \%$

Vergleich mit der garantierten Leistungskurve:

iSpin 2 PC<sub>w</sub>:  $\Delta_{av.} = 0,9 \%$ ;  $\Delta_{max} = 1,6 \%$

(except for NKE01 where sensor mounting was slightly different, 4.7%)

# Thank you!

Contact:

+49 40 46093944

[sales@romowind.com](mailto:sales@romowind.com)



**ROMO WIND**  
WIND KNOWLEDGE IS WIND POWER

**ROMO WIND**

WIND KNOWLEDGE IS WIND POWER

# ROMO Wind ausgewählte Kunden



**ABB**



**edp** renewables  
powered by nature



**e.on**



**REPOWER**



**acciona**



**Enel GreenPower**



**VATTENFALL**



**ERG**



**ENGIE**  
by people for people®

# ROMO Wind ausgewählte Partner und Gesellschafter



# Korrektur von Gondelfehlausrichtung bringt klare und unmittelbare Vorteile

## **Erhöhte Jahresenergieerträge**

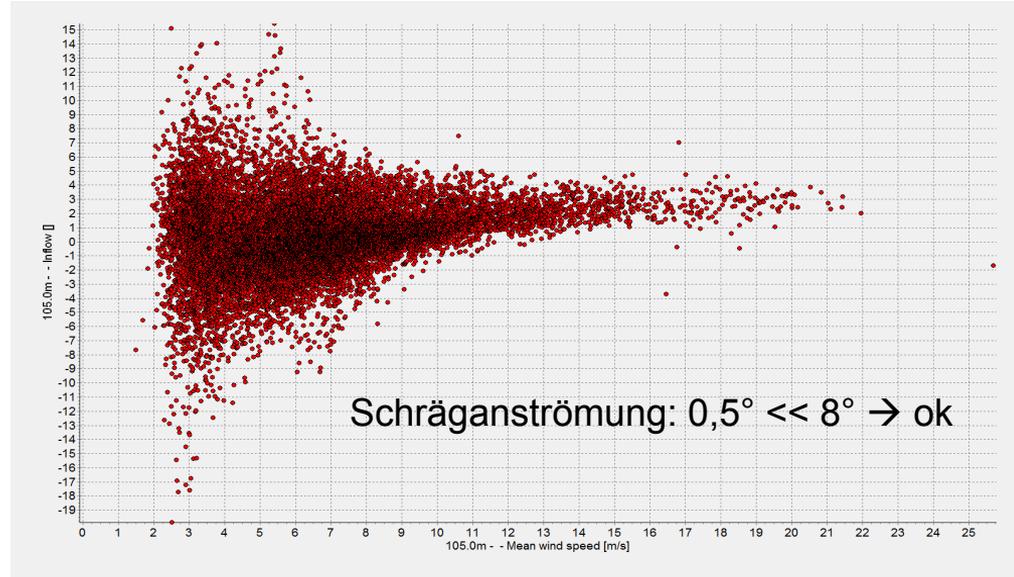
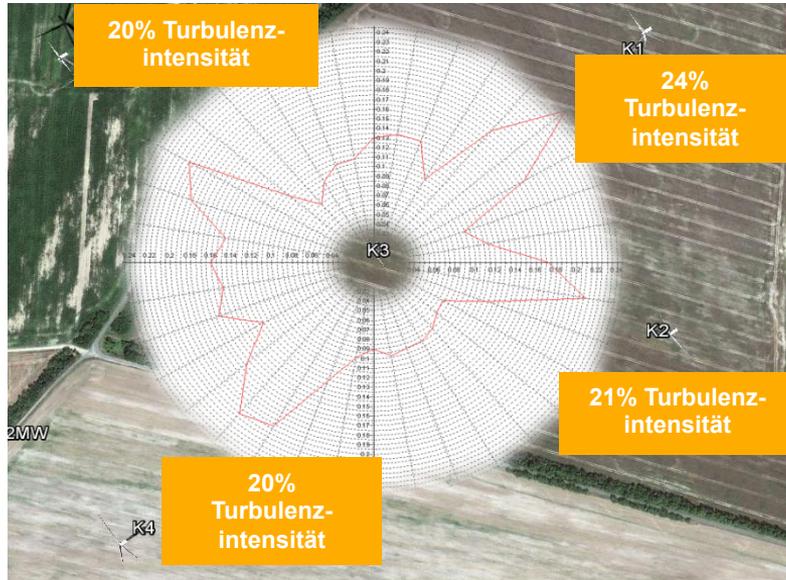
- Möglichkeit Gondelfehlausrichtungen zu messen und zu korrigieren (~2.0 % JEE Erhöhung)
- Möglichkeit zum Windsektormanagement basierend auf konkreten Messwerten (Turbulenzintensität, Schräganströmung, etc.)
- Überprüfung und Dokumentation von Optimierungsmaßnahmen durch Messung und Vergleich von relativen Leistungskurven (Vorher-Nachher-Vergleich)
- Frühzeitige Erkennung von WEA mit Minderleistung
- Erkennung von dynamischen Nachführungsproblemen und deren Behebung in Kooperation mit dem Hersteller (weitere Verbesserungspotential von 0.2 – 1,5% JEE)

## **Verlängerung der WEA Lebensdauer und/oder Reduzierung der Wartungskosten**

- Korrektur von Gondelfehlausrichtungen reduziert die Lasten an der WEA und verlängert dadurch deren Lebensdauer bzw. reduziert die Kosten für die Wartung von Großkomponenten
- Möglichkeit der Einführung von Sektormanagement auf Basis der Messung von schädlichen Windbedingungen (Schräganströmungen und Turbulenzintensitäten)

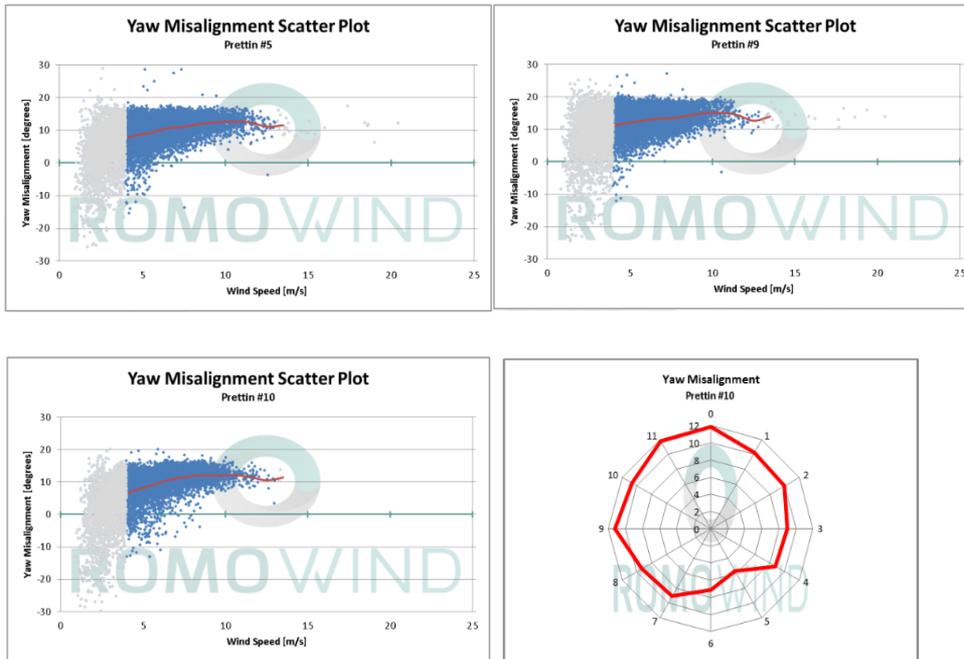
# Fallbeispiele 1: Gondelnachführungsfehler im Repower Windpark: Lübbenau 8 x V90 VCS-2MW

WEA Nummer	Gondelnachführungsfehler	AEP Steigerung
1	2,3°	0,21%
2	-1,4°	0,06%
3	-5,2°	0,8%
4	-3,6°	0,4%
5		
6	-2,9°	0,26%
7	-3,2°	0,3%
8	-1,4°	0,06%



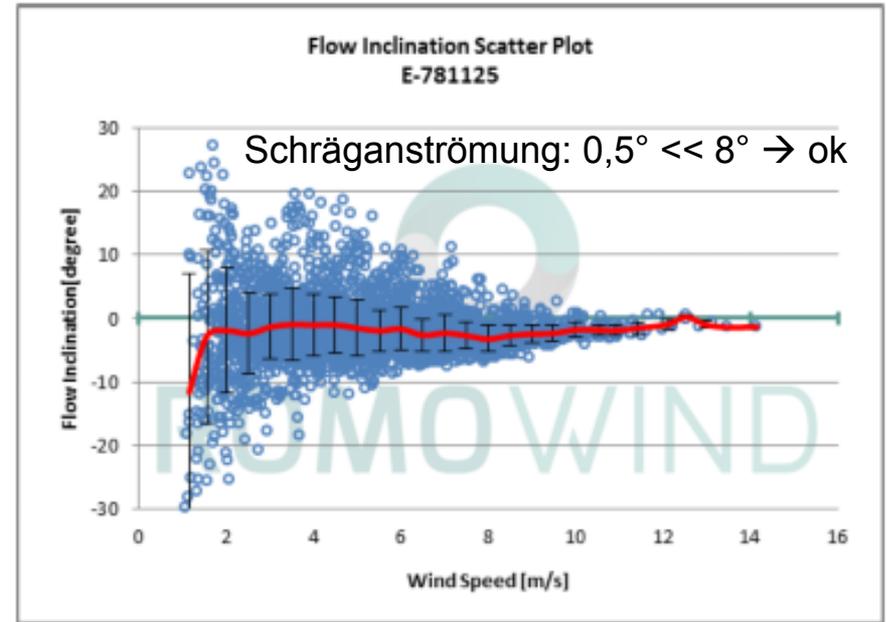
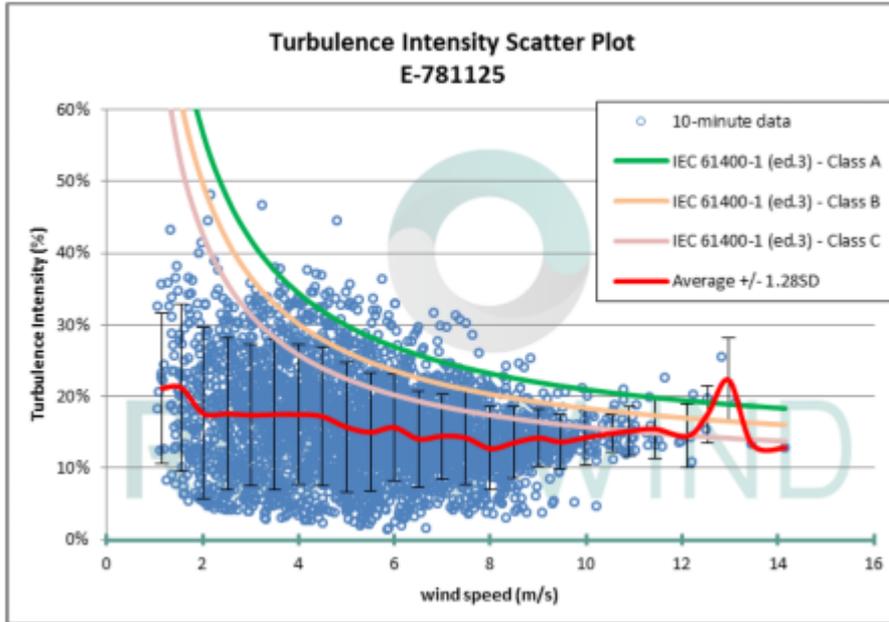
**Höhere Lasten = reduzierte Komponentenlebensdauer**

# Fallbeispiele: Gondelnachführungsfehler im Repower Windpark III: Prettin 5 x E70-2MW



WEA Nummer	Gondelnachführungsfehler	AEP Steigerung
1	12,0°	4,52%
2	13,5°	5,76%
5	10,2°	3,24%
9	12,9°	5,25%
10	9,9°	3,05%

# Fallbeispiele 2: Turbulenzintensität & Schräganströmung WEA #10

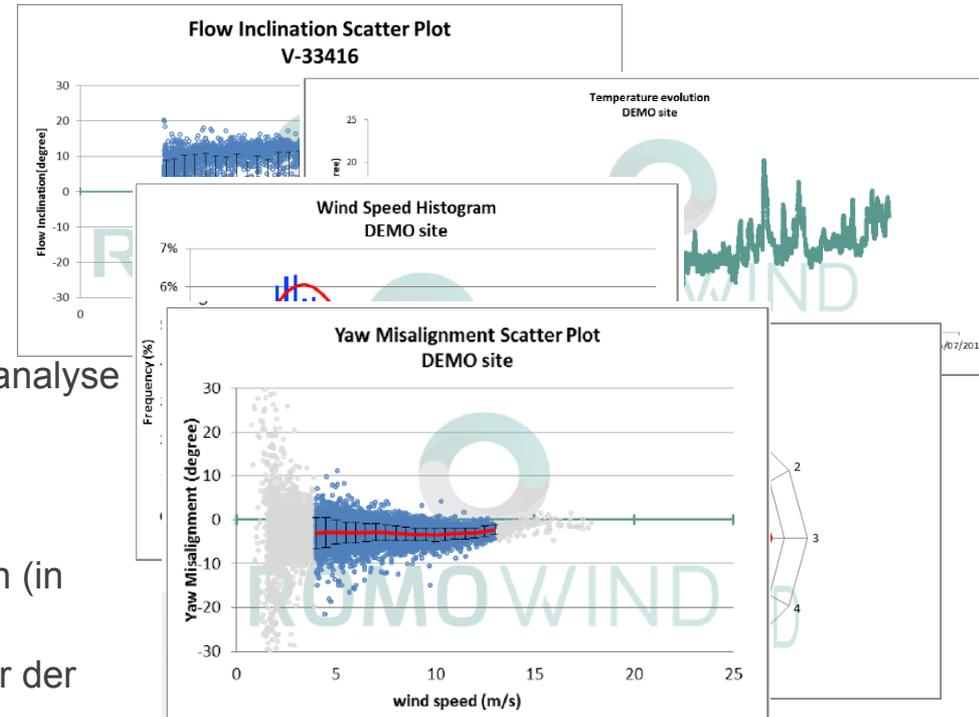


## Erfassbare Messgrößen mit iSpin:

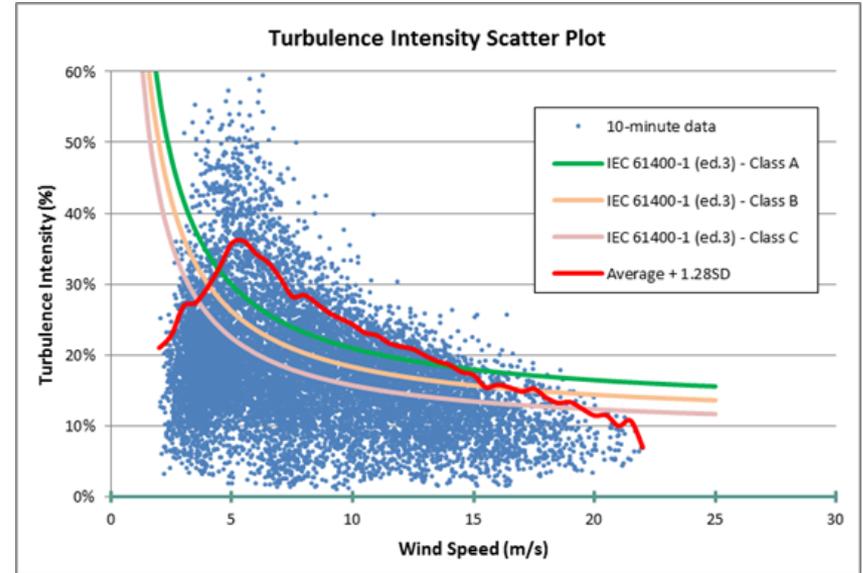
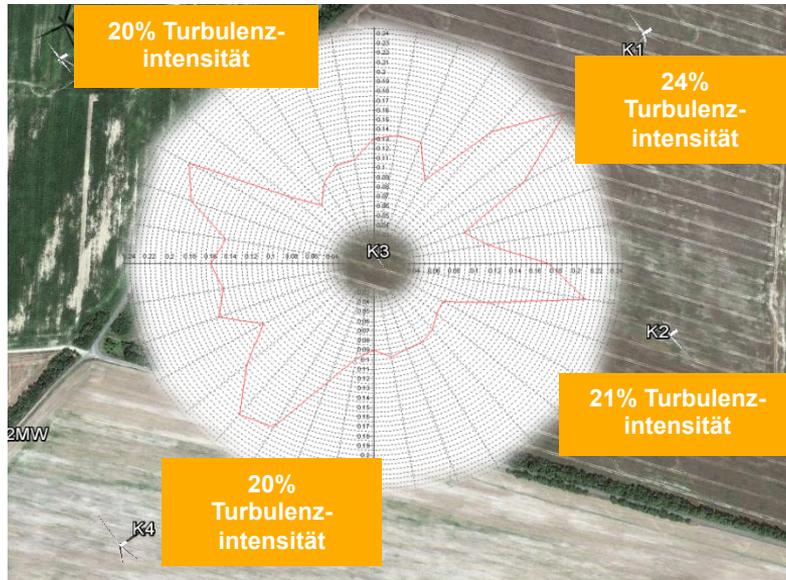
- „Freier“ Wind und Rotorwindgeschwindigkeit
- Gondelfehlausrichtung
- Schräganströmung
- Turbulenzintensität
- Temperatur und Luftdruck

## iSpin bietet dadurch folgende Möglichkeiten:

- Vergleiche zwischen der ursprünglichen Standortanalyse und den gemessenen Winddaten
- Bestmögliche Ausnutzung der tatsächlichen Windverhältnisse
- Detaillierte Analysen für ertragsschwache Anlagen (in Kombination mit SCADA-Daten)
- Flankierende Aussagen über die Restlebensdauer der Windenergieanlagen



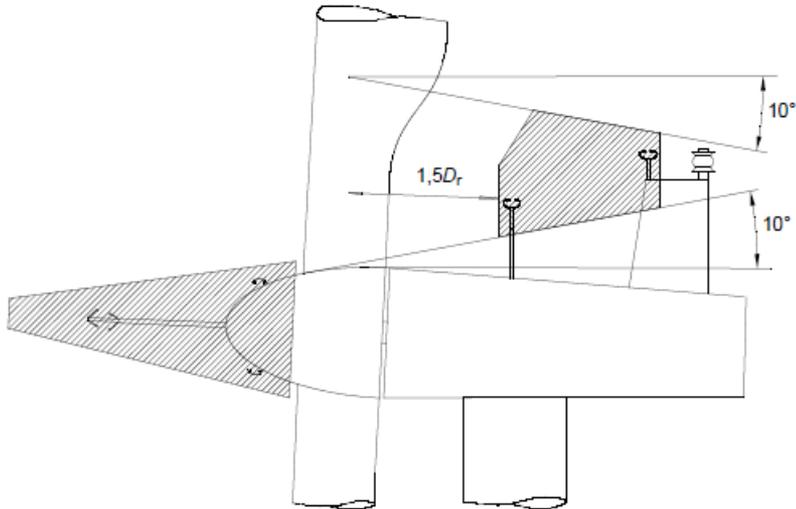
# Fallbeispiel 1: Turbulenzintensitäten



**Höhere Lasten = reduzierte Komponentenlebensdauer**

## Installationsbereiche gemäß IEC 61400-12-2

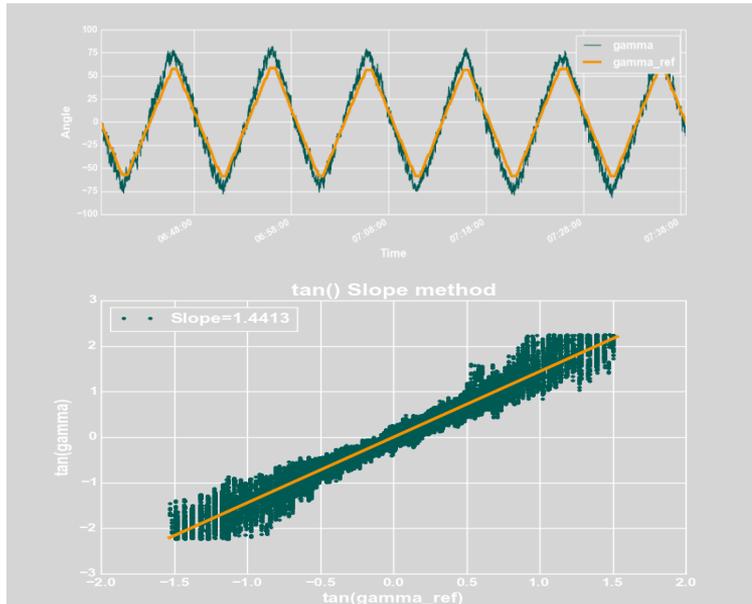
## Instruktion zur Windtunnelkalibrierung (gelistet durch IECRE)



### OMC CLARIFICATION SHEET

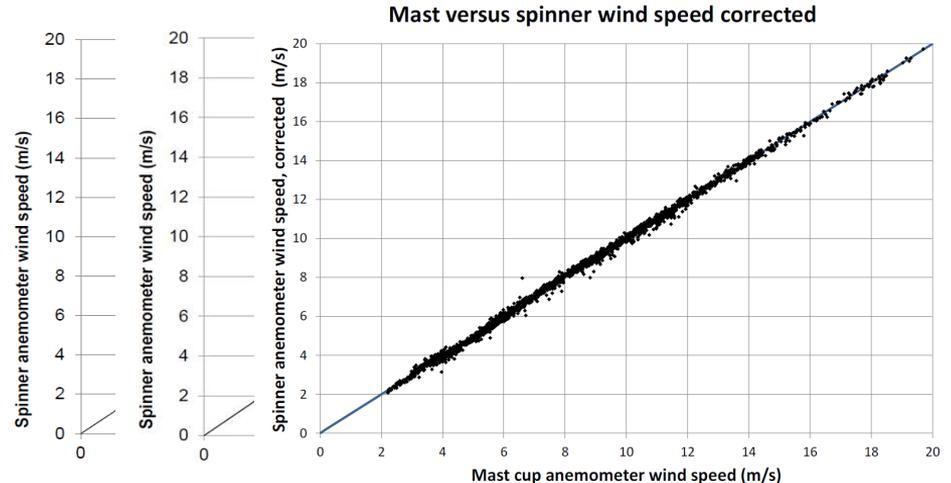
Standard(s) (incl. year)	Sub-clause(s)	For Secretariat use only	
IEC 61400-12-2:2013	Annex H	CSH No. <b>001</b>	CSH pub. date 2015-11-30
Subject	Keywords	Provided to:	
Use of Spinner Anemometers	calibrate, spinner, anemometer	WE-OMC	
Question			
How to calibrate a spinner anemometer?			

## Kalibrierung der Fehlausrichtungsmessung durch kontrolliertes Verfahren der WEA



## iSpin-Kalibrierung mit Windmessmast

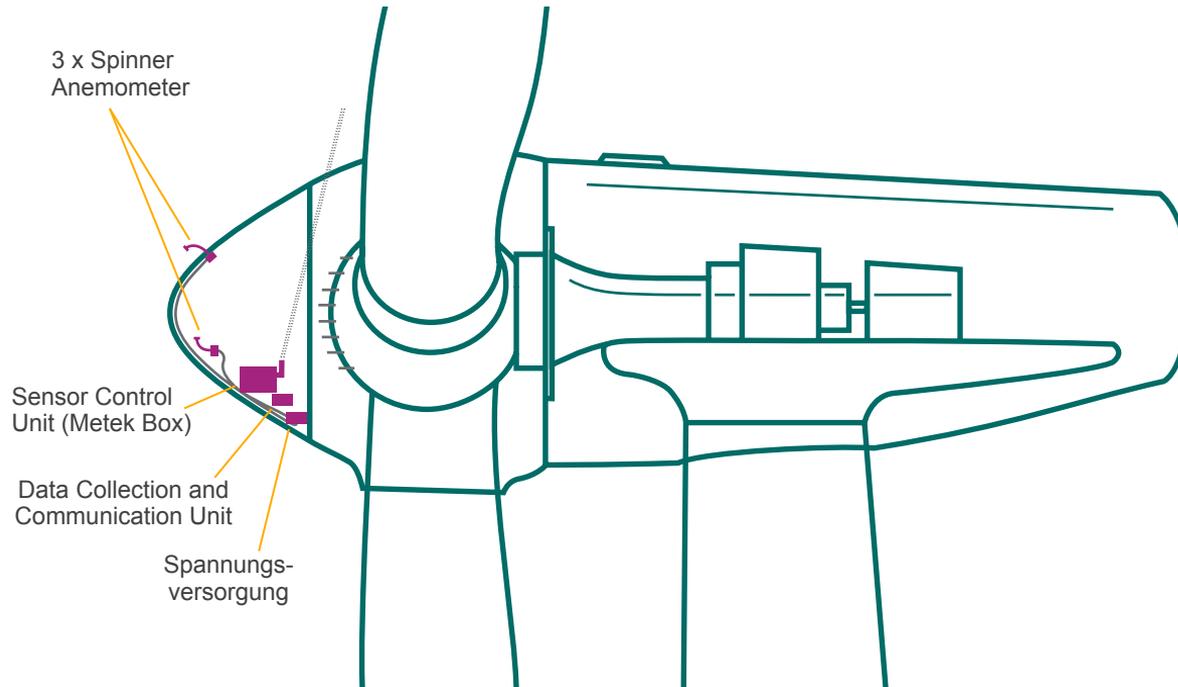
- Hohe (und niedrige) Windgeschwindigkeiten,  $U_{SA} = k1 \cdot U_{mast}$
- Im Teillastbereich NTF-Prozedur gemäß IEC 61400-12-2



# iSpin – Hardware Setup

## Nabe/Rotor

## Gondel



### Designed for:

- Turbine owners and operators who want to maximise the revenue from their installed base
- Permanent installation

### Data included in the quarterly reports:

- Static yaw misalignment

### Power supply:

- Fixed power supply in hub: 230 VAC, 24 VDC or 24 VAC (other by request)

### Service technician interface:

- SMS via mobile phone
- LEDs on the iSMB HW

### Requirements:

- Local SIM card for SMS and dial up data (2G or 3G GSM coverage)