

Fallbeispiel: Leistungsoptimierung und –monitoring von Windkraftanlagen mittels Spinneranemometrie

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



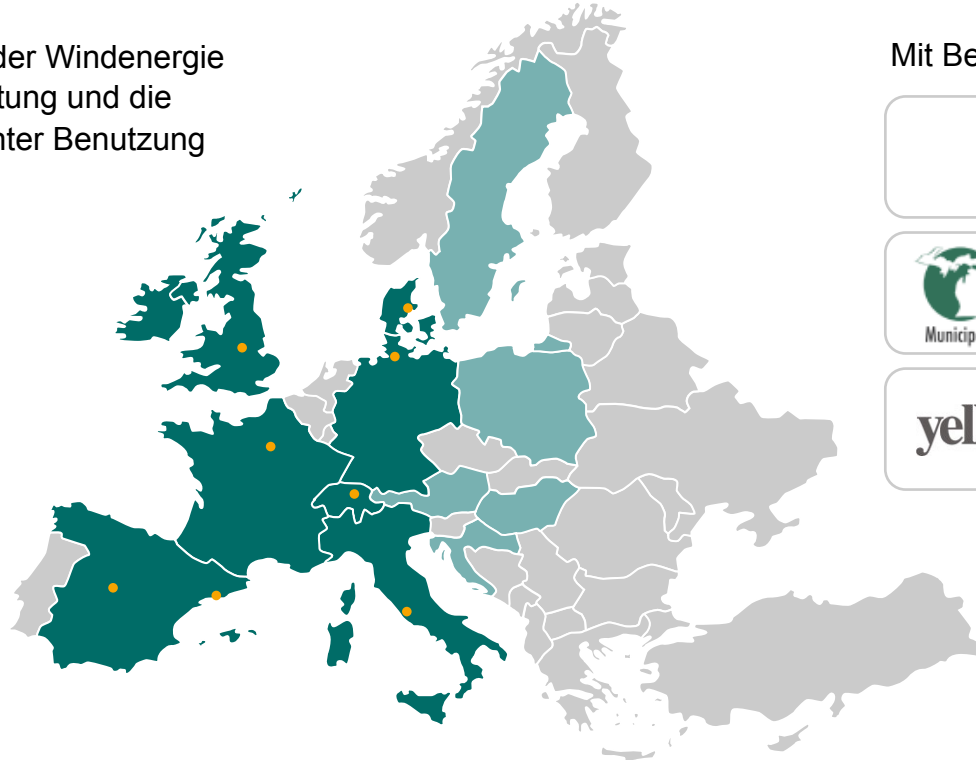
ROMO WIND
WIND KNOWLEDGE IS WIND POWER

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

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



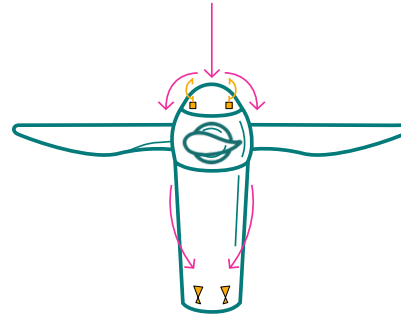
Mit Beteiligung von

ABB

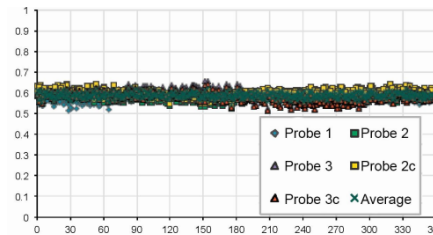
MERS
Municipal Employees' Retirement System

yellow & blue

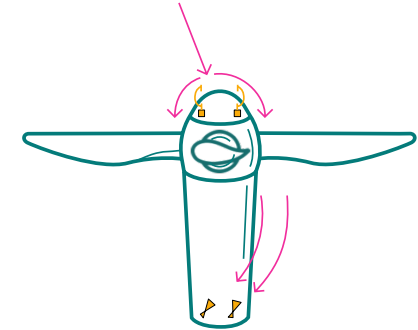
Funktionsweise des Spinner-Anemometers



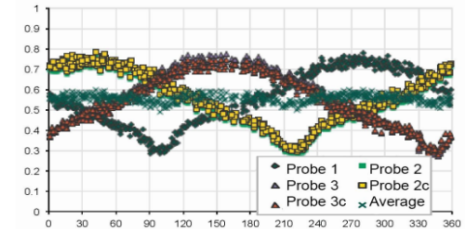
0 Grad Fehlausrichtung



Gemessene Windgeschwindigkeit der 3 Sensoren bei Windrichtung 90° zur Rotorfläche



38 Grad Fehlausrichtung



Gemessene Windgeschwindigkeit der 3 Sensoren bei Fehlausrichtung



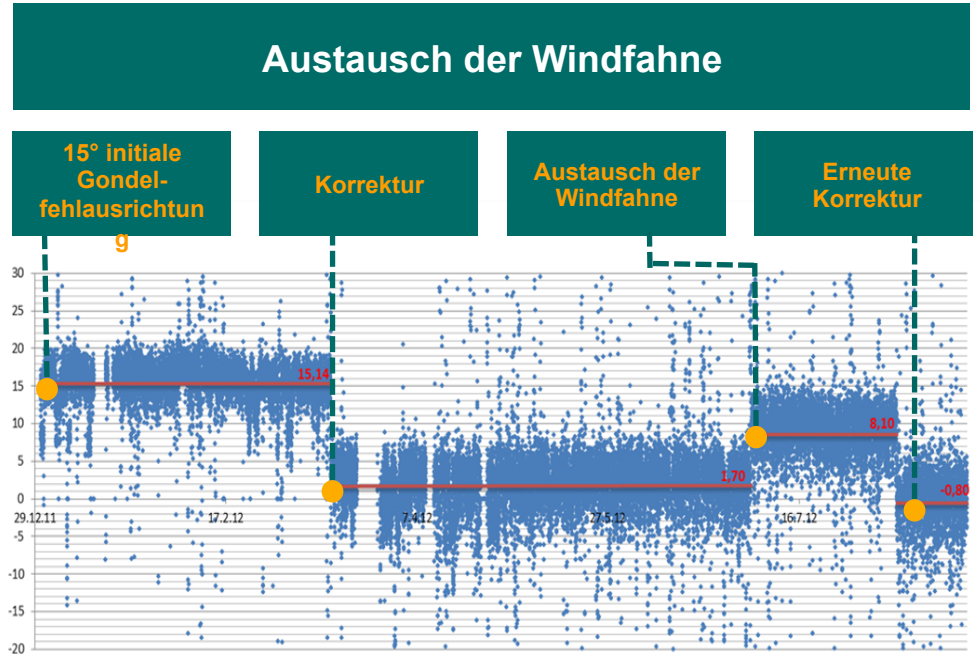
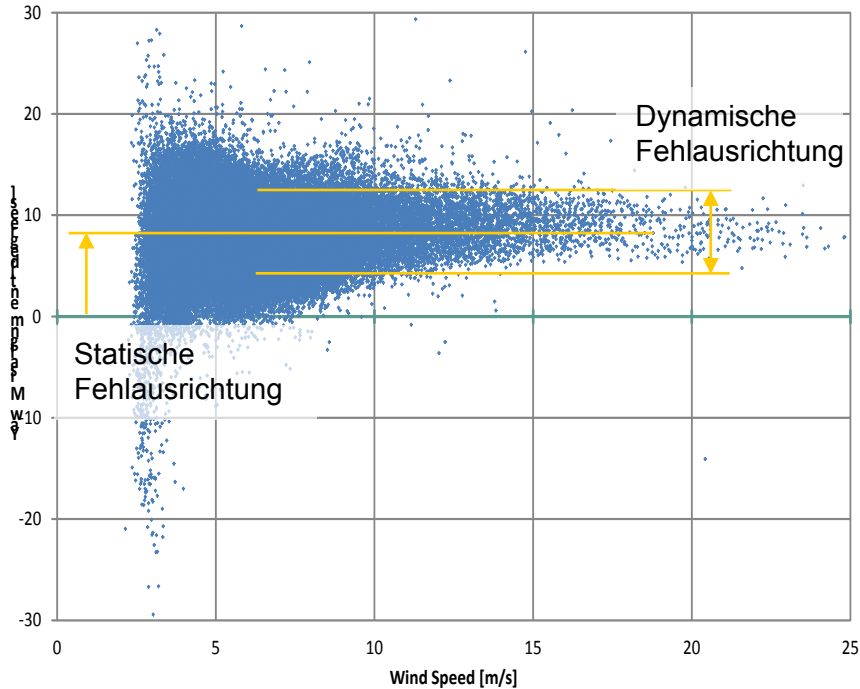
- Erfunden und entwickelt an der **DTU / RISØ in Dänemark seit 2004**
- Innovative Anwendung der **bewährten Ultraschallmesstechnologie**
- Seit April 2013: **IEC 61400-12-2 Standard zur Leistungsvermessung**
- Industrielle Entwicklung und **Anwendung durch ROMO Wind seit 2011**
- **Was wir messen:**

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

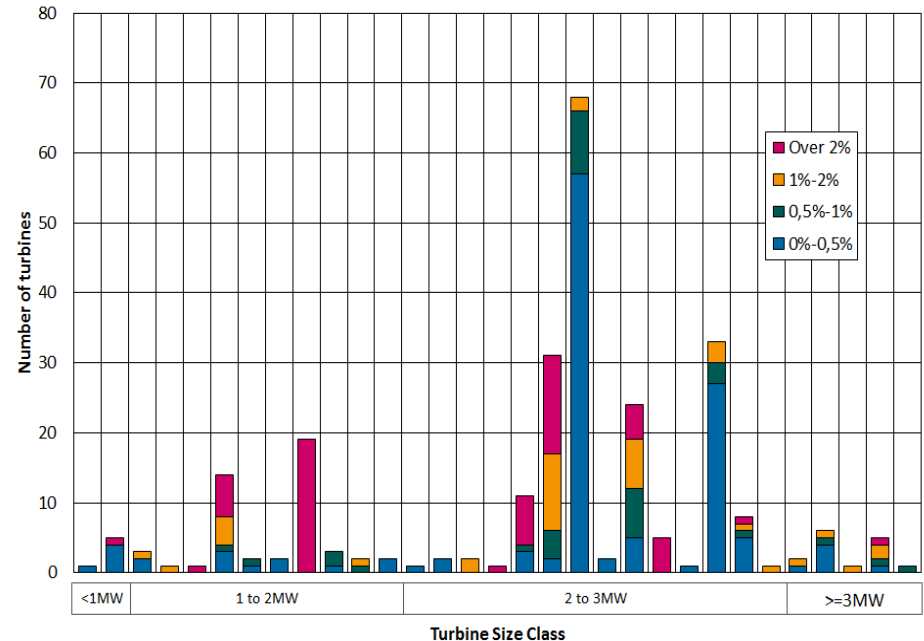


Statische Gondelfehlausrichtungen – ein weit verbreitetes Problem

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%

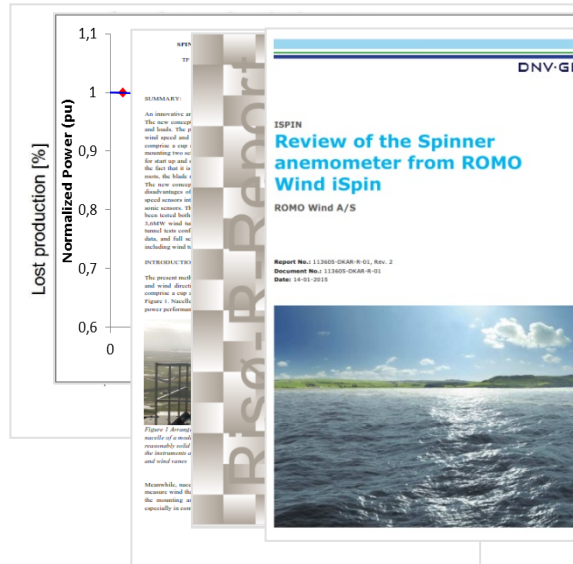
→ Durchschnittlich 1.98% Mehrertrag durch die Korrektur von Gondelfehlausrichtungen



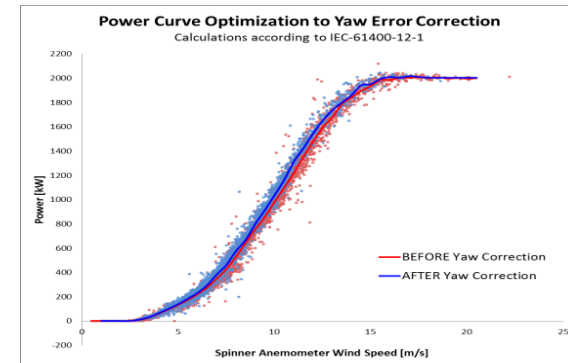
Gondelfehlausrichtung = geringerer Ertrag

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%

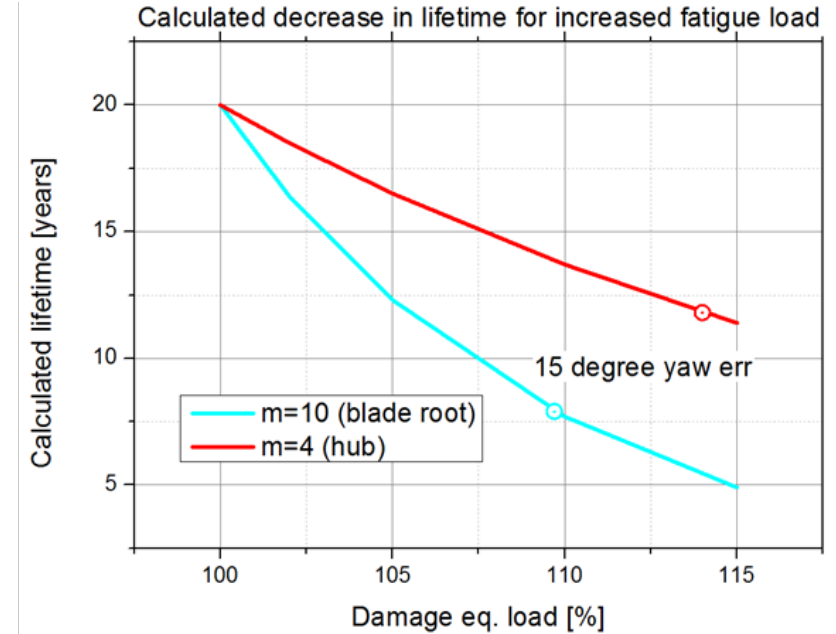
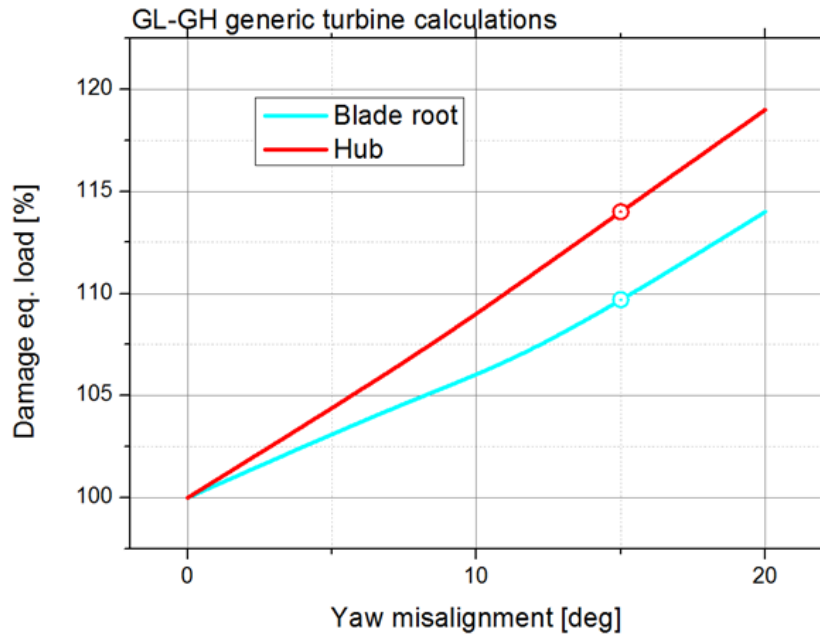
Wissenschaftlicher Beweis



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



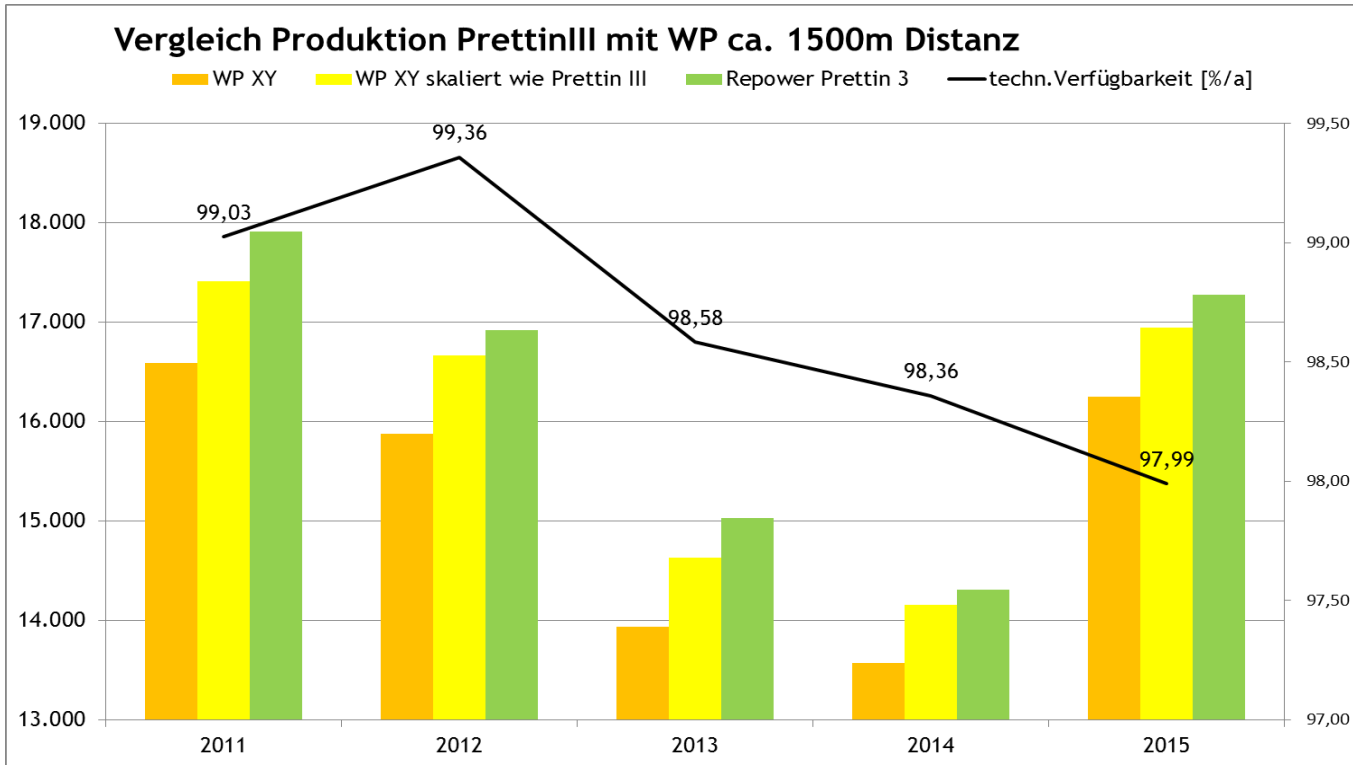
Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung

REPOWER Management & Maßnahmen 2013 + 2014 + 2015

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

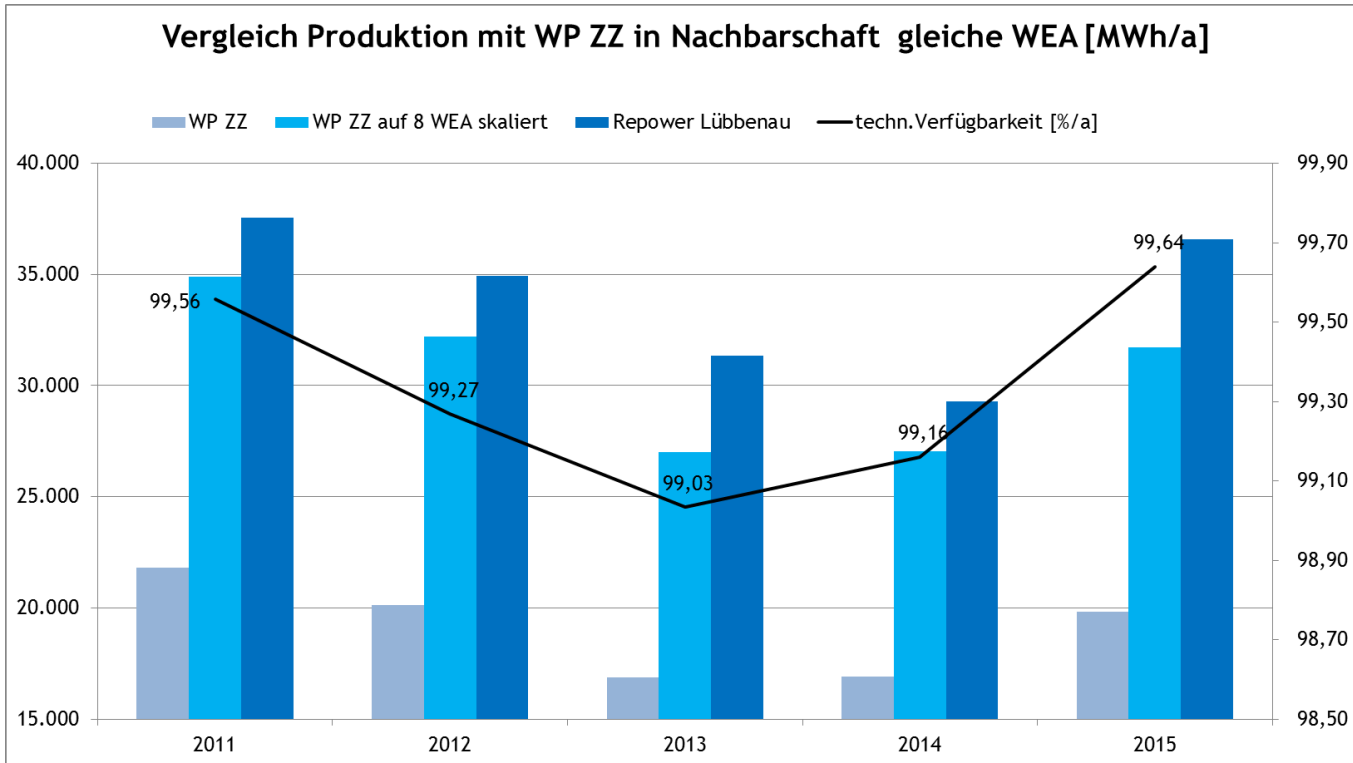
Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung

REPOWER



Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung

REPOWER



Fallbeispiele Vorbereitung und Durchführung



STR consulting & service GmbH



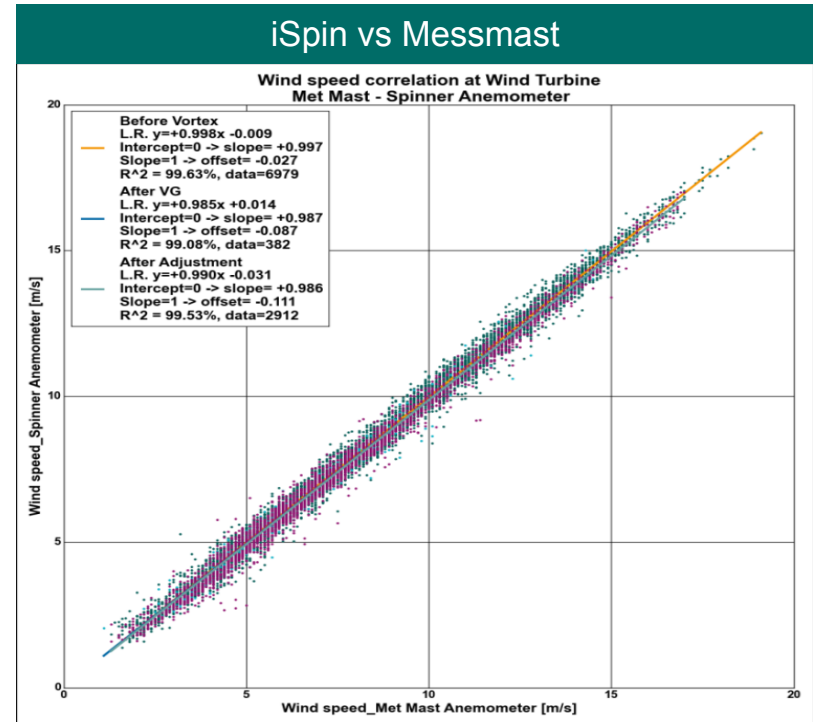
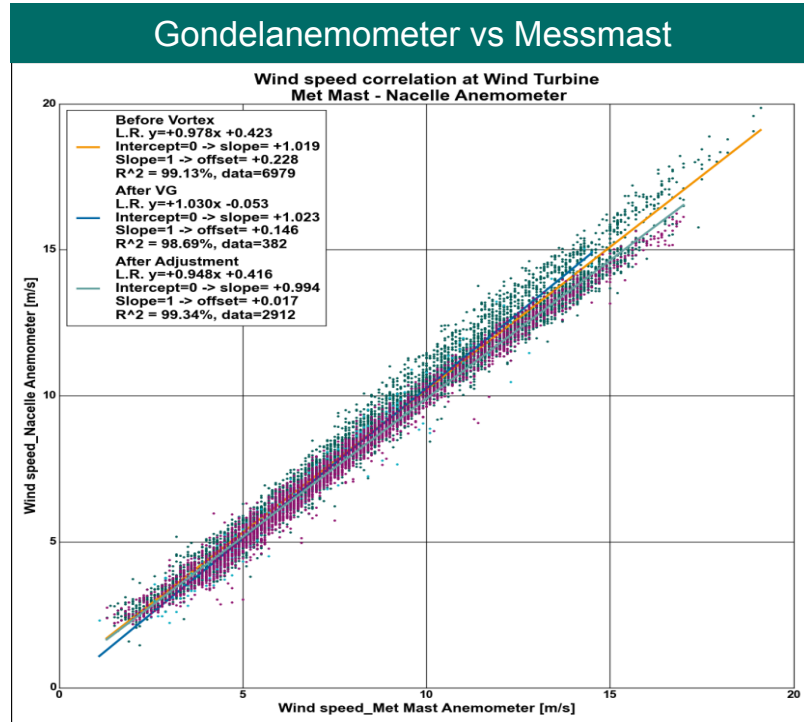
Enercon	10	5 Enercon E70-E2	100 % Privat
Noch in Verhandlung	7,5	5 WEA 1,5 MW-ler	100 % Investor

Erster Eindruck:

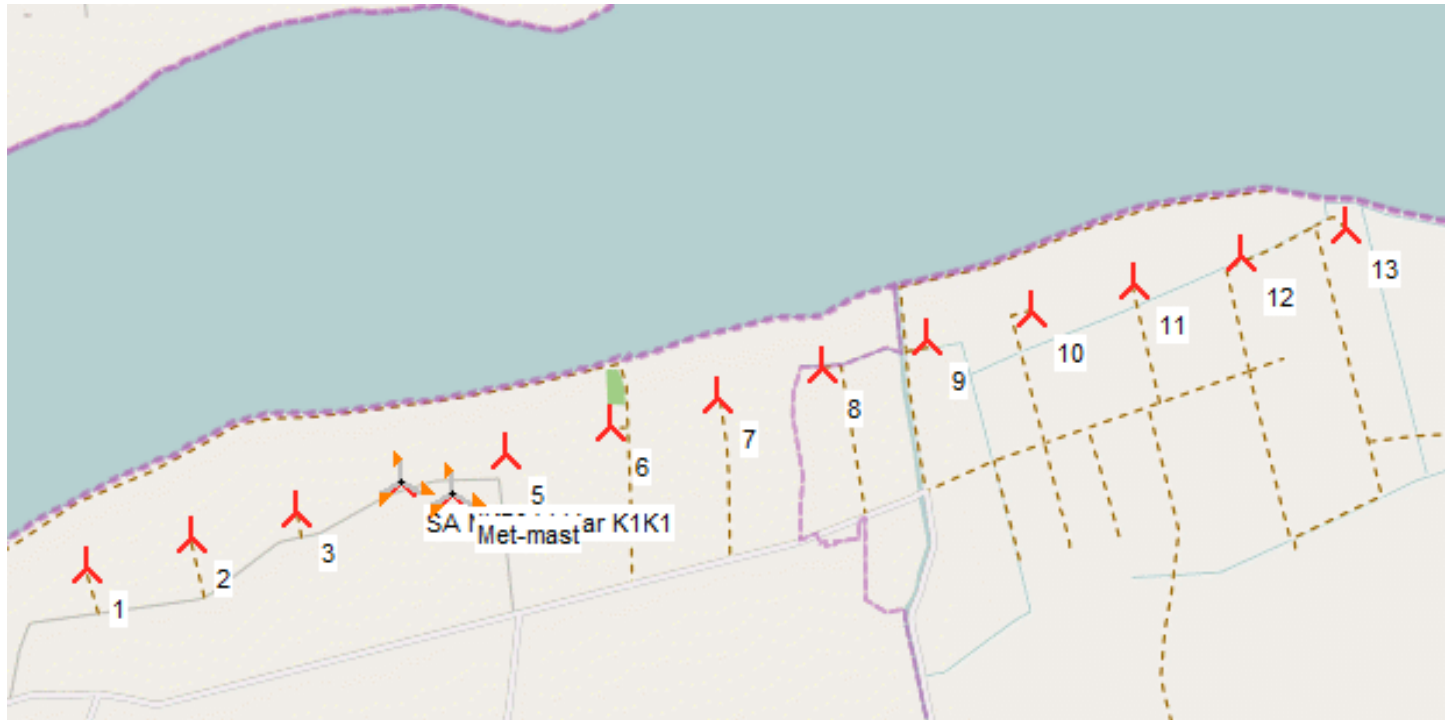
1. Fehlstellung WEA
2. Rotorblattschäden
3. Trafohaus zu warm



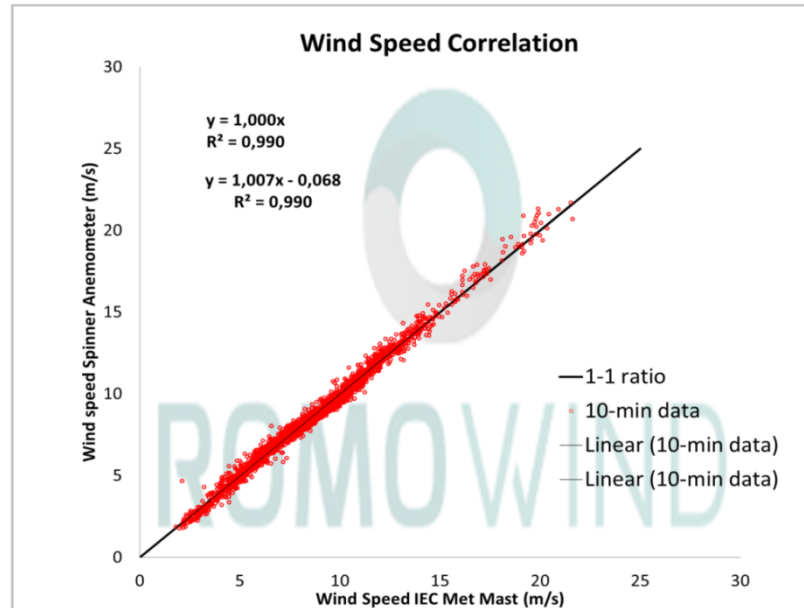
iSpin-Messungen sind unbeeinflusst von Vortex-Generator-Installation oder Fehlausrichtungskorrektur



Leistungskurvenvermessung Fallbeispiel 3: Nörreker Enge - Vattenfall

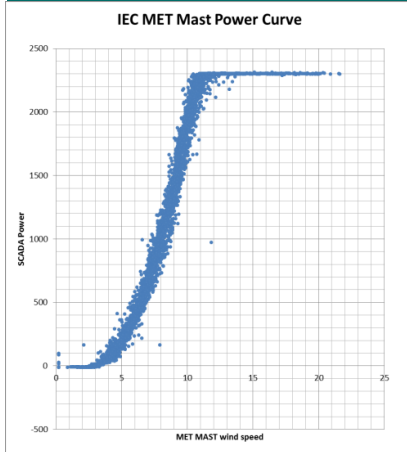


Korrelation: Messmast - iSpin

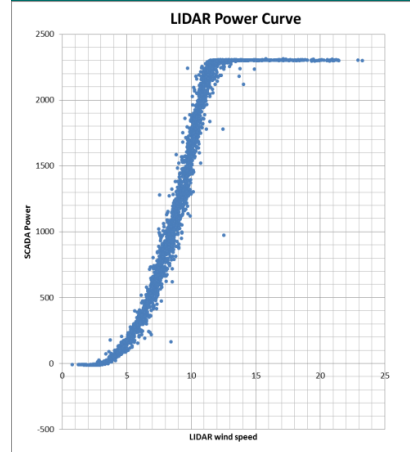


Leistungskurvenvergleich (1/2)

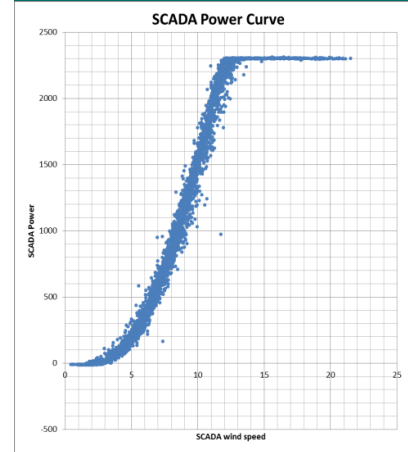
Met mast



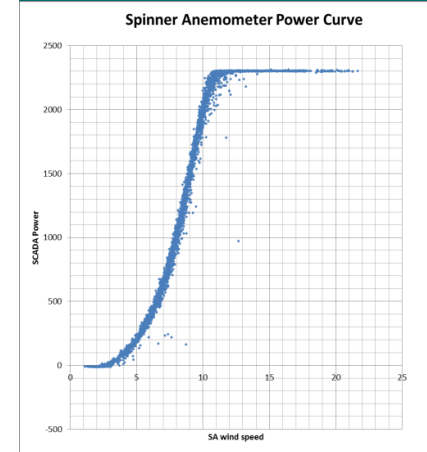
Nacelle based LiDAR



Nacelle anemometer



iSpin



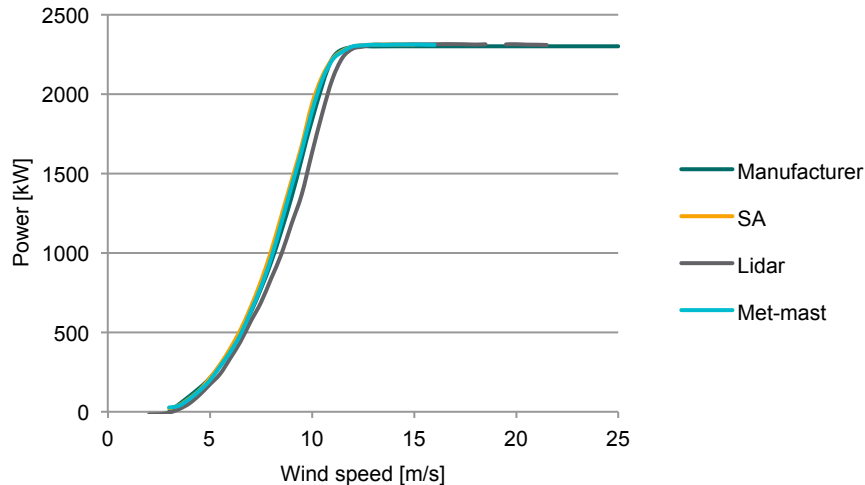
Vorwärtsgerichtete Vermessung

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

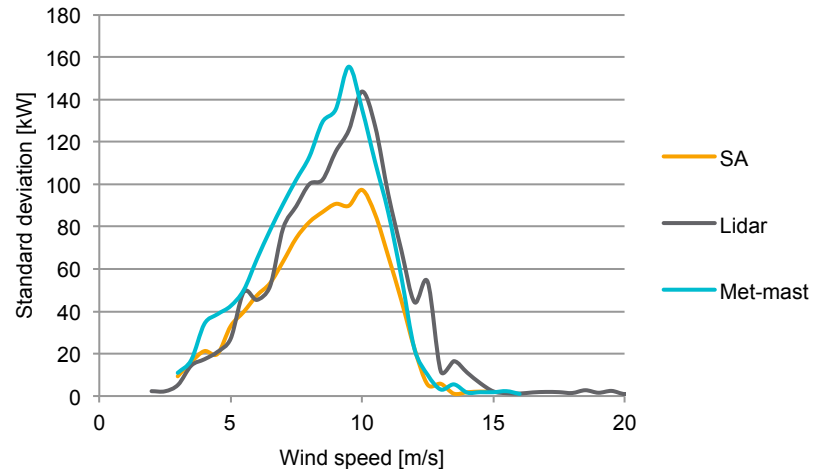
Leistungskurven und ihre Streuung(std. dev.) in freier Anströmung: 101 – 229 deg



Vergleich mit dem IEC Messmast:

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

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



Vergleich mit der garantierten Leistungskurve:

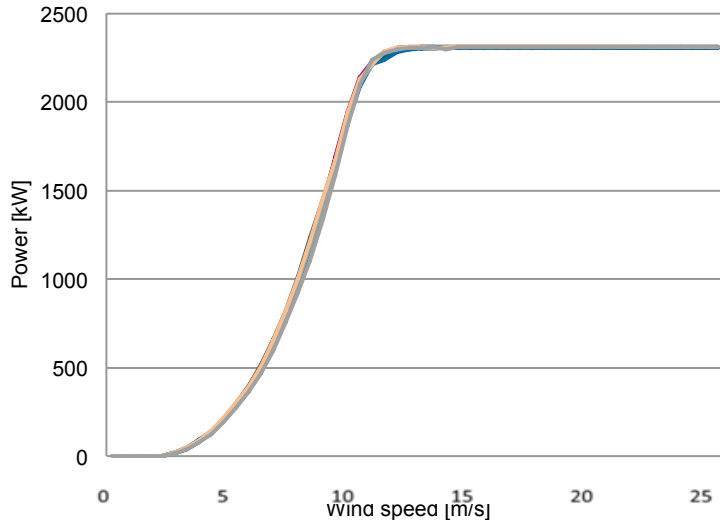
IEC 2 PC_w : $\Delta = 1,2 \%$

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

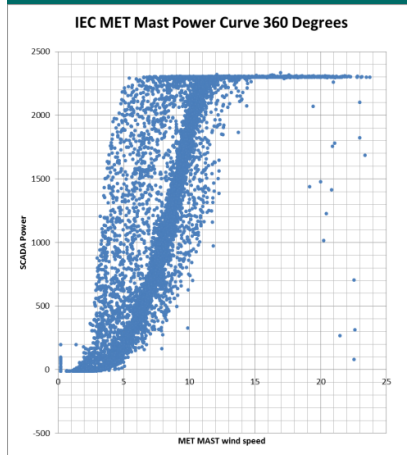
#2,3,4,5,6: 7 Sep -> 22 Oct 2015

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

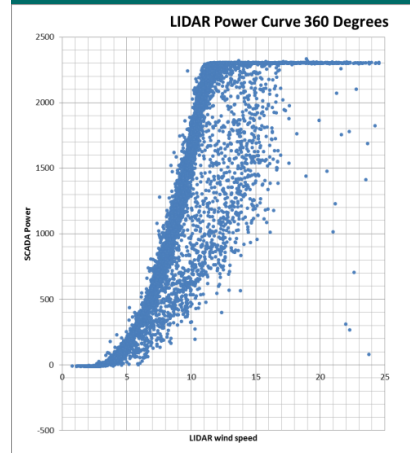
Vergleich mit dem IEC Messmast:
iSpin 2 IEC: $\Delta_{av.} = 0,4 \%$; $\Delta_{max} = 1,0 \%$

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

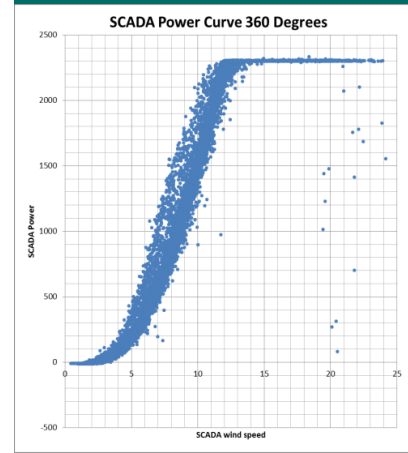
Met mast



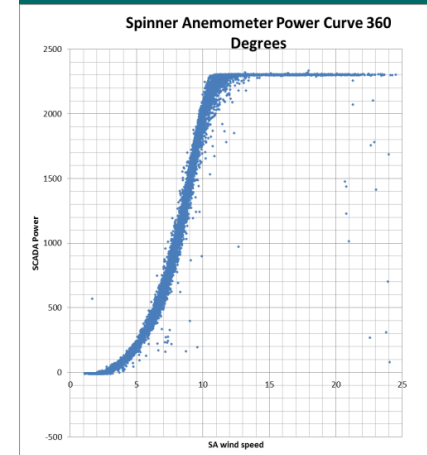
Nacelle based LiDAR



Nacelle anemometer



iSpin

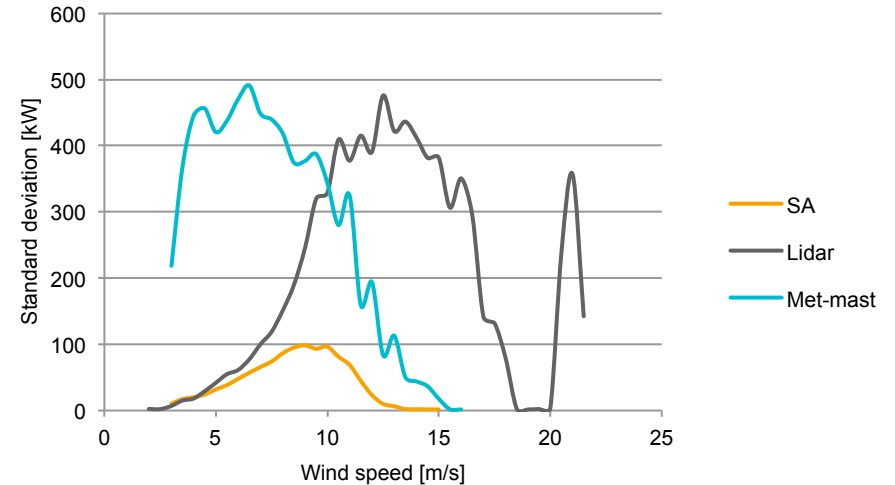
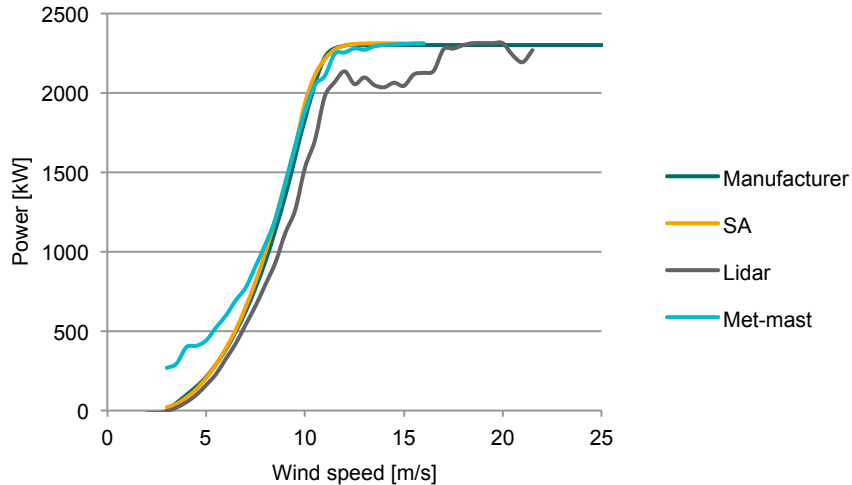


Vorwärtsgerichtete Messungen

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*: $\Delta = 0,1 \%$

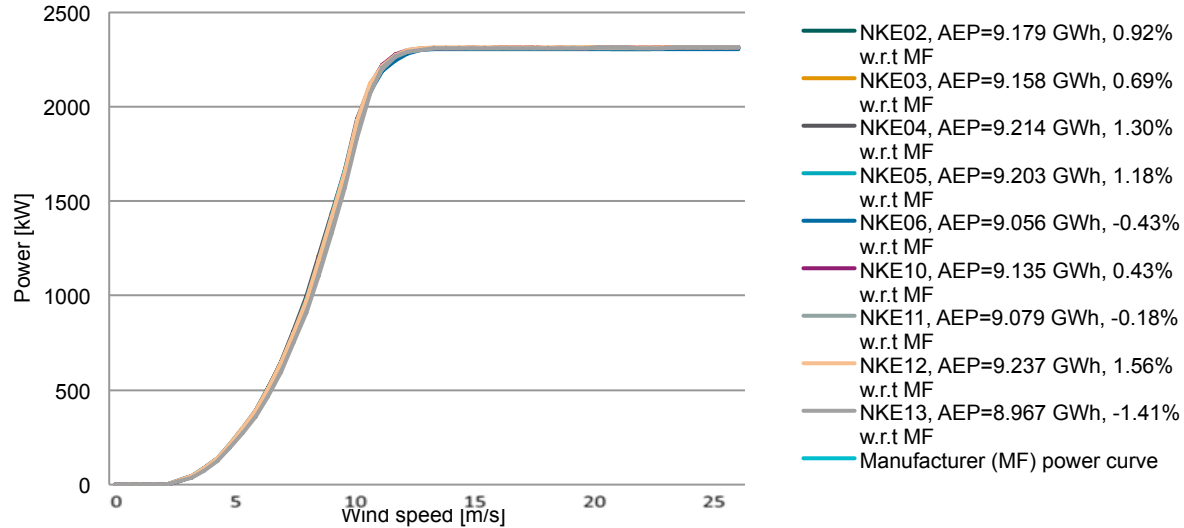
*... IEC compliant in the free wind sectors only

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_w: $\Delta_{av.} = 0,9 \%$; $\Delta_{max} = 1,6 \%$

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

Thank you!

Contact:

+49 40 46093944

sales@romowind.com



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

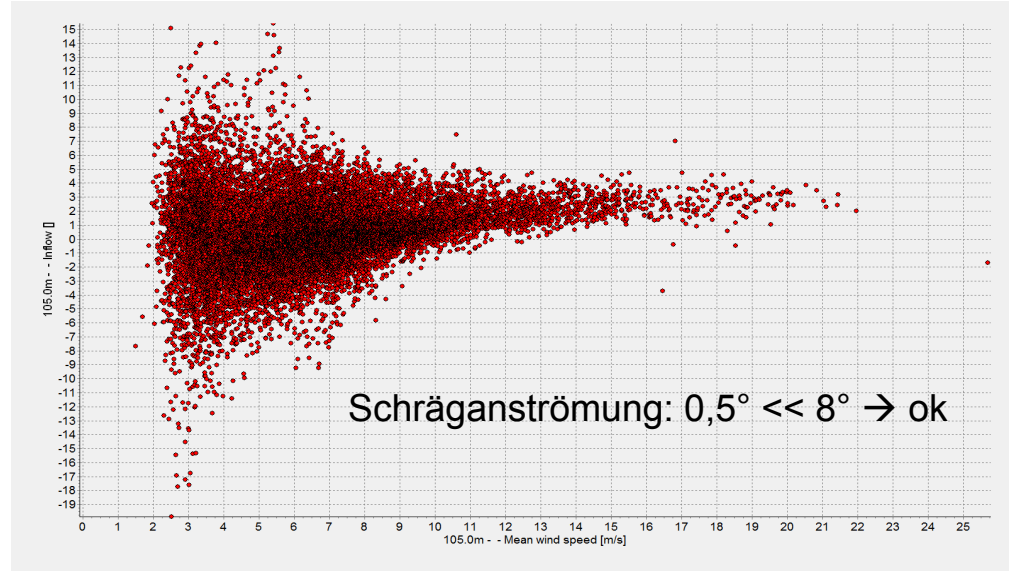
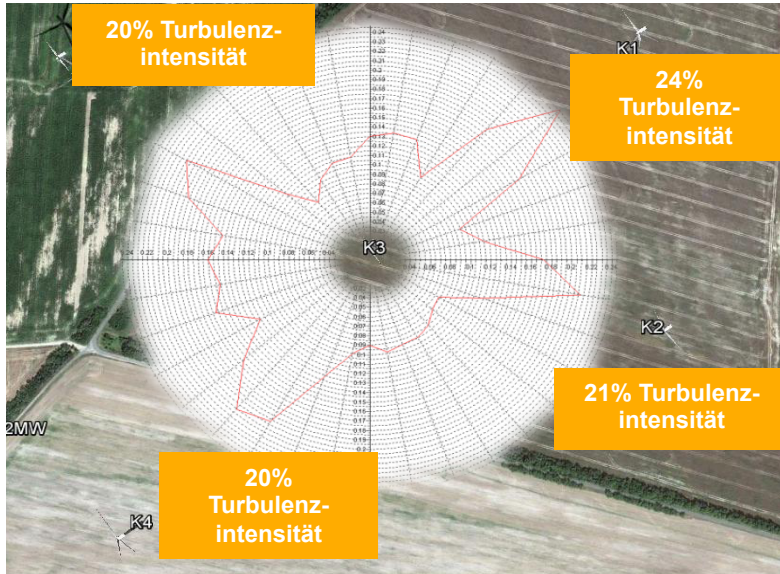
- Möglichkeit Gondelfehlausrichtungen zu messen und zu korrigieren (~2.0 % JEE Erhöhung)
- Möglichkeit zum Windsektormanagement basierend auf konkreten Messwerten (Turbulenzintensität, Schräganströmung, etc.)
- Überprüfung und Dokumentation von Optimierungsmaßnahmen durch Messung und Vergleich von relativen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

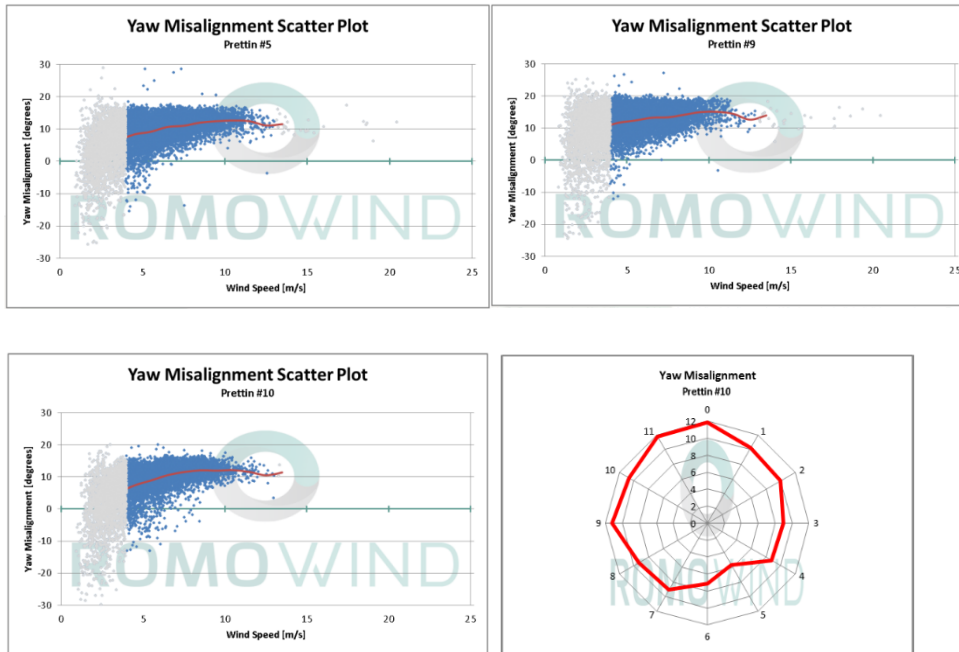
Fallbeispiele 1: Gondelnachführungsfehler im Repower Windpark: Lübbenau 8 x V90 VCS-2MW

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

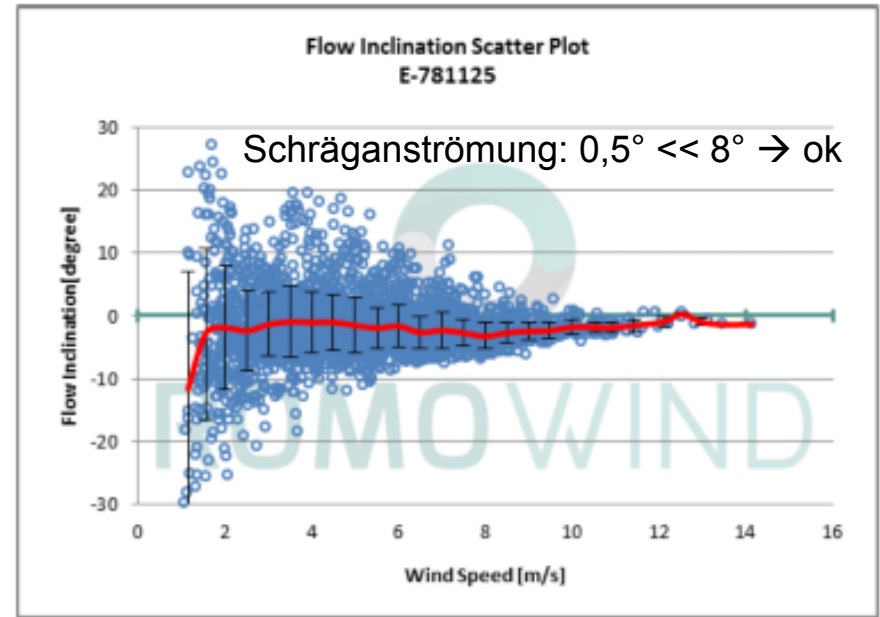
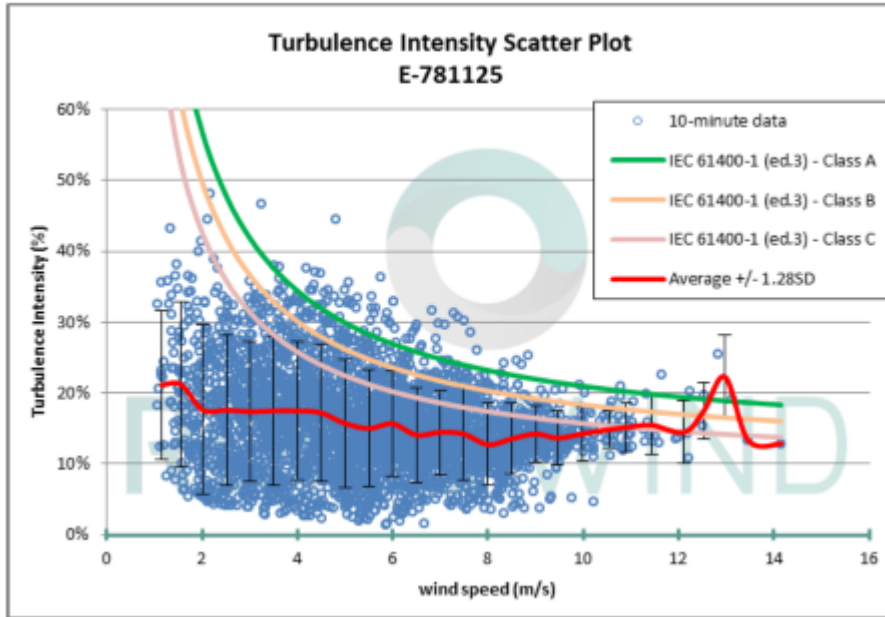
Fallbeispiele: Gondelnachführungsfehler im Repower Windpark III: Prettin 5 x E70-2MW



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



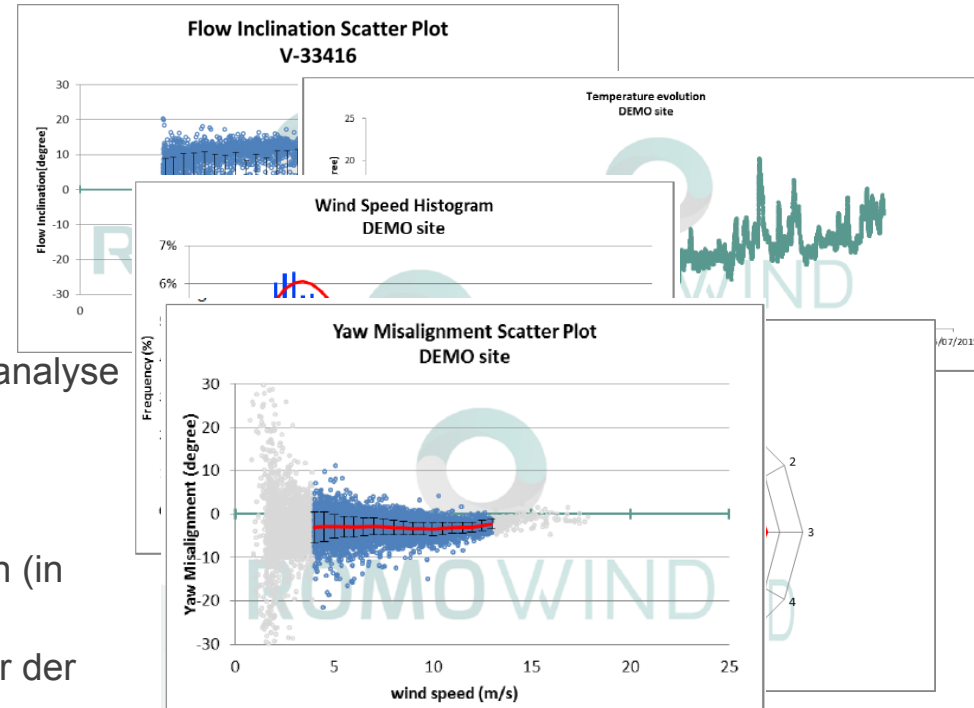
Standortanalysen und Weiterbetrieb nach 20 Jahren

Erfassbare Messgrößen mit iSpin:

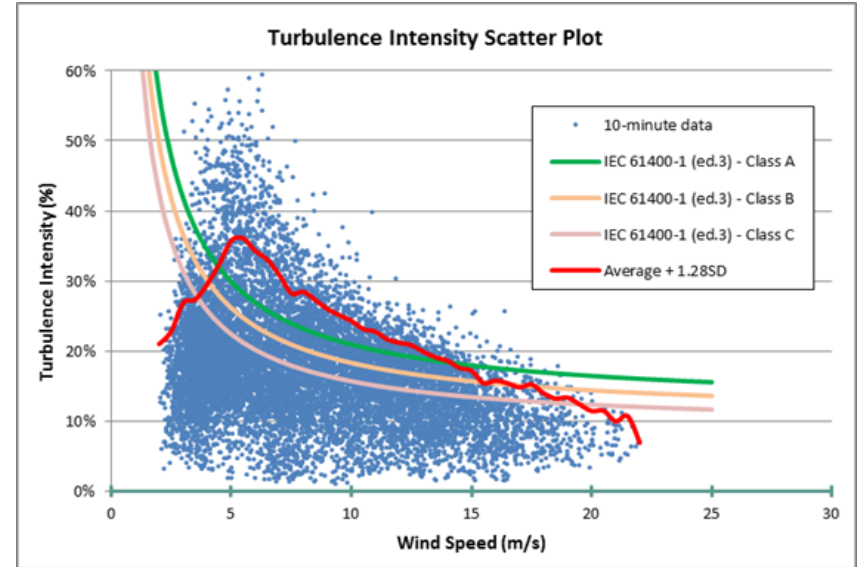
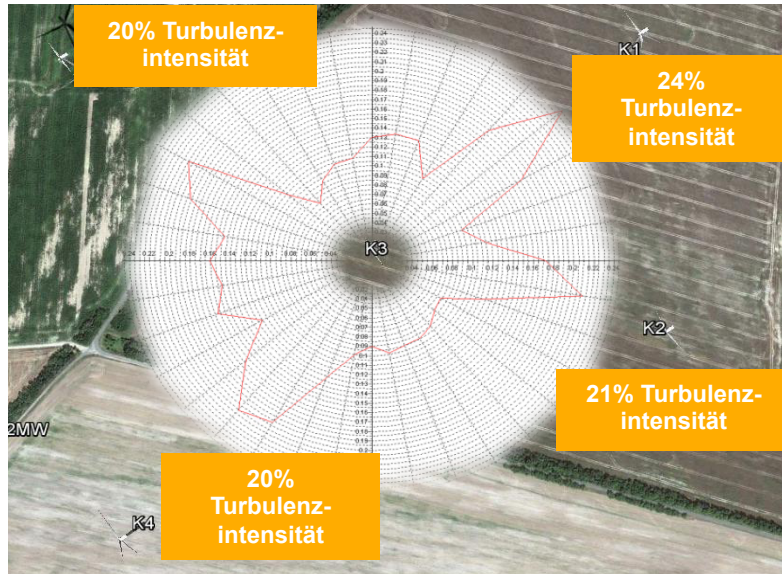
- „Freier“ Wind und Rotorwindgeschwindigkeit
- Gondelfehlausrichtung
- Schräganströmung
- Turbulenzintensität
- Temperatur und Luftdruck

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



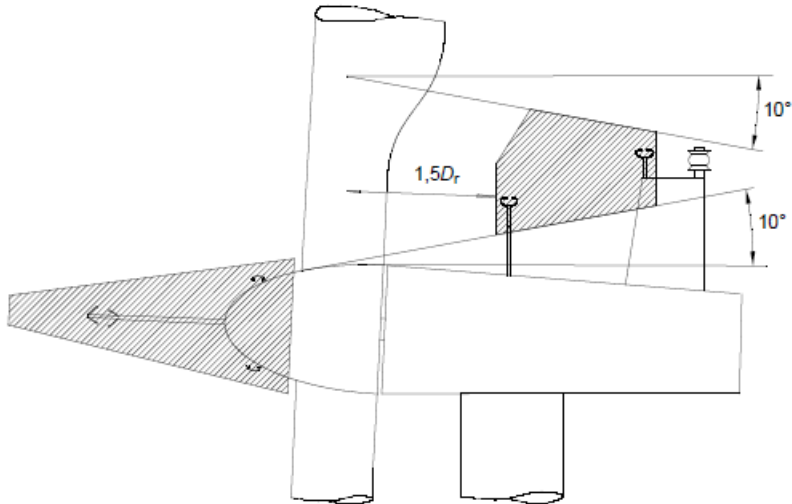
Fallbeispiel 1: Turbulenzintensitäten



Höhere Lasten = reduzierte Komponentenlebensdauer

Installationsbereiche gemäß IEC 61400-12-2

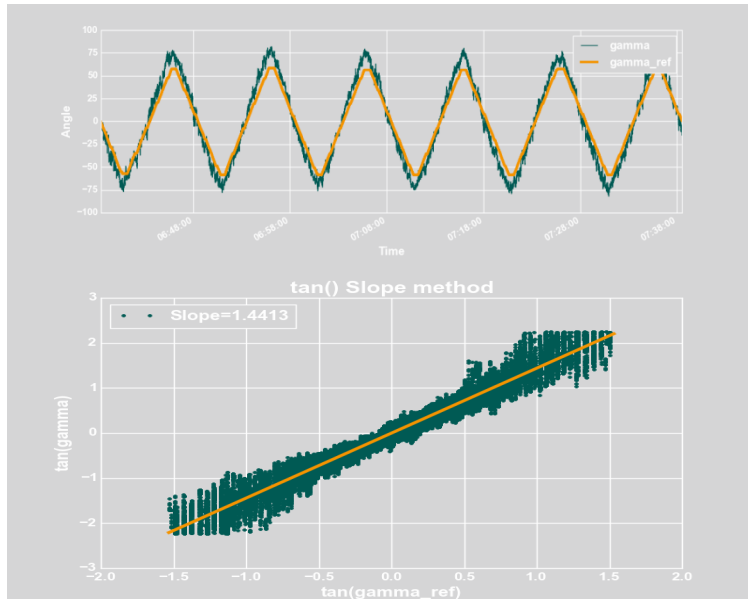
Instruktion zur Windtunnelkalibrierung (gelistet durch IECRE)



OMC CLARIFICATION SHEET

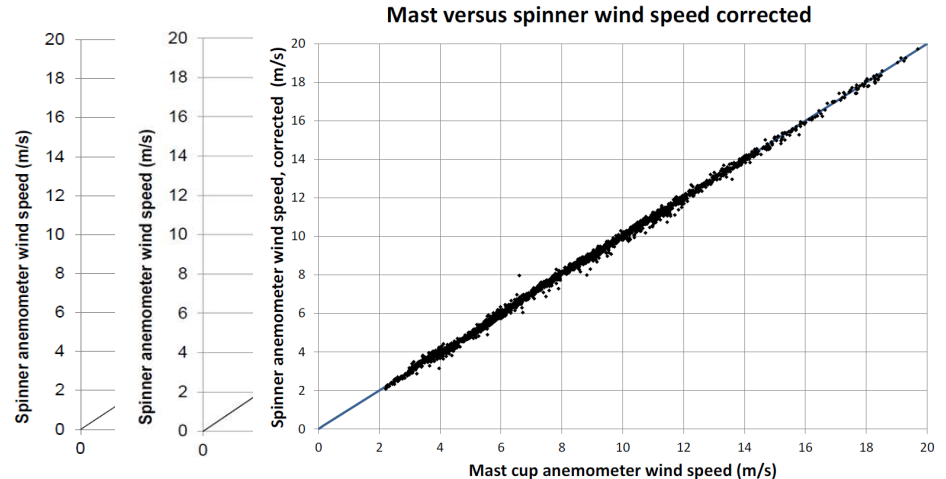
Standard(s) (incl. year)	Sub-clause(s)	For Secretariat use only	
IEC 61400-12-2:2013	Annex H	CSH No. 001	CSH pub. date 2015-11-30
Subject	Keywords	Provided to:	
Use of Spinner Anemometers	calibrate, spinner, anemometer	WE-OMC	
Question			
How to calibrate a spinner anemometer?			

Kalibrierung der Fehlausrichtungsmessung durch kontrolliertes Verfahren der WEA



iSpin-Kalibrierung mit Windmessmast

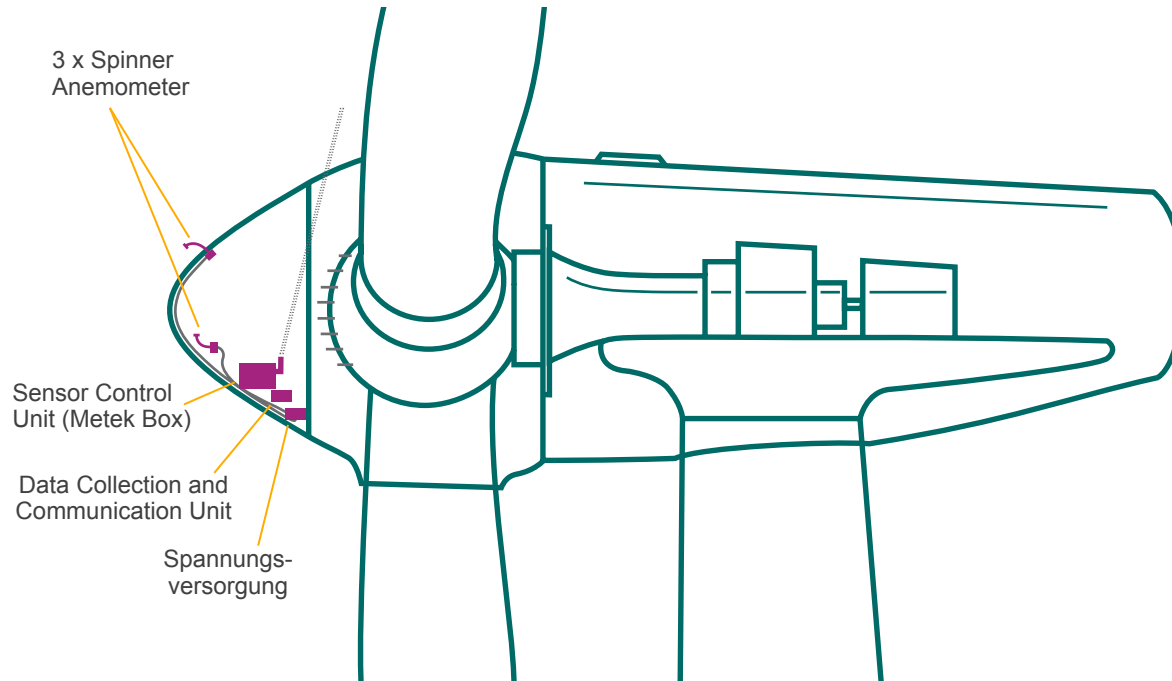
- Hohe (und niedrige) Windgeschwindigkeiten, $U_{SA} = k1 \cdot U_{mast}$
- Im Teillastbereich NTF-Prozedur gemäß IEC 61400-12-2



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)