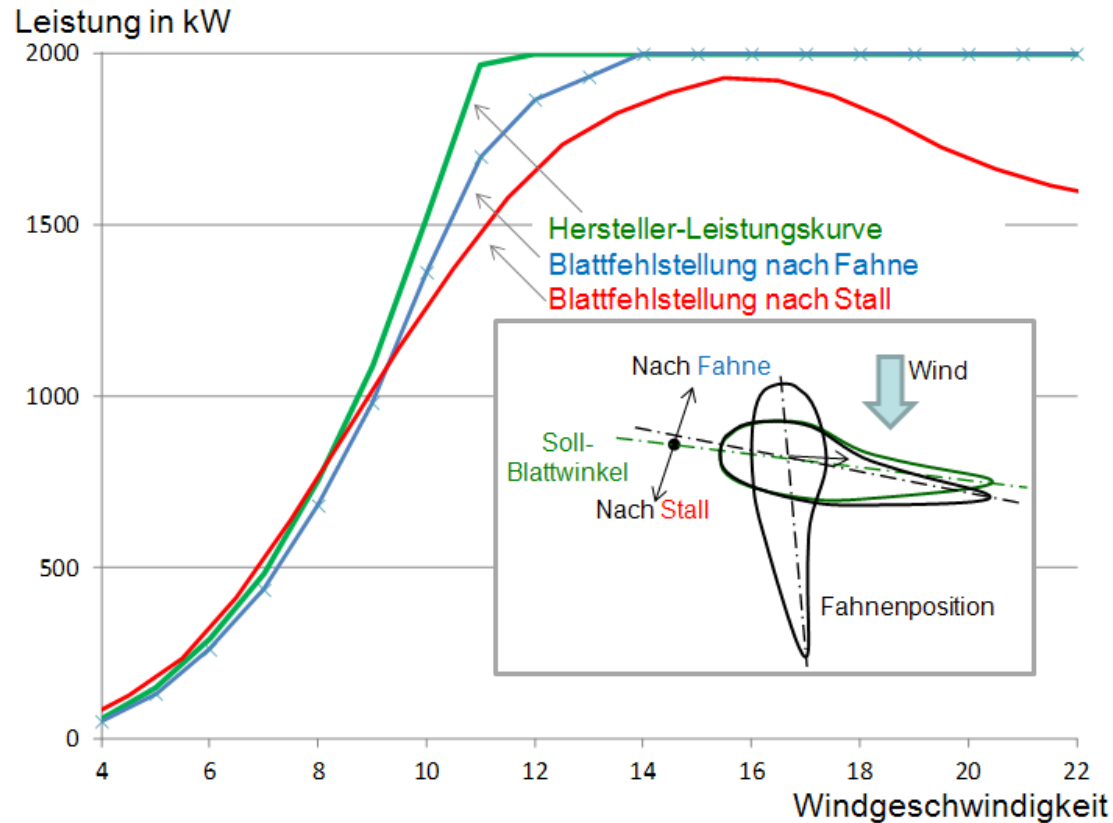


Höherer Ertrag durch korrekte Blattwinkeljustage

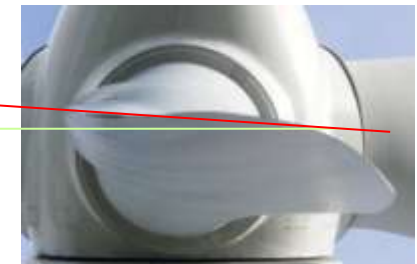
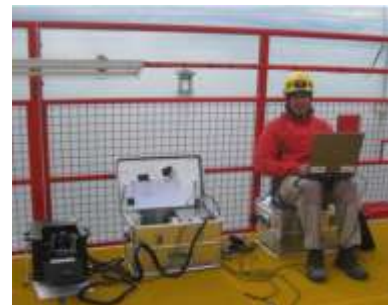


23. Windenergietage, 11.-13. November 2014 in Potsdam

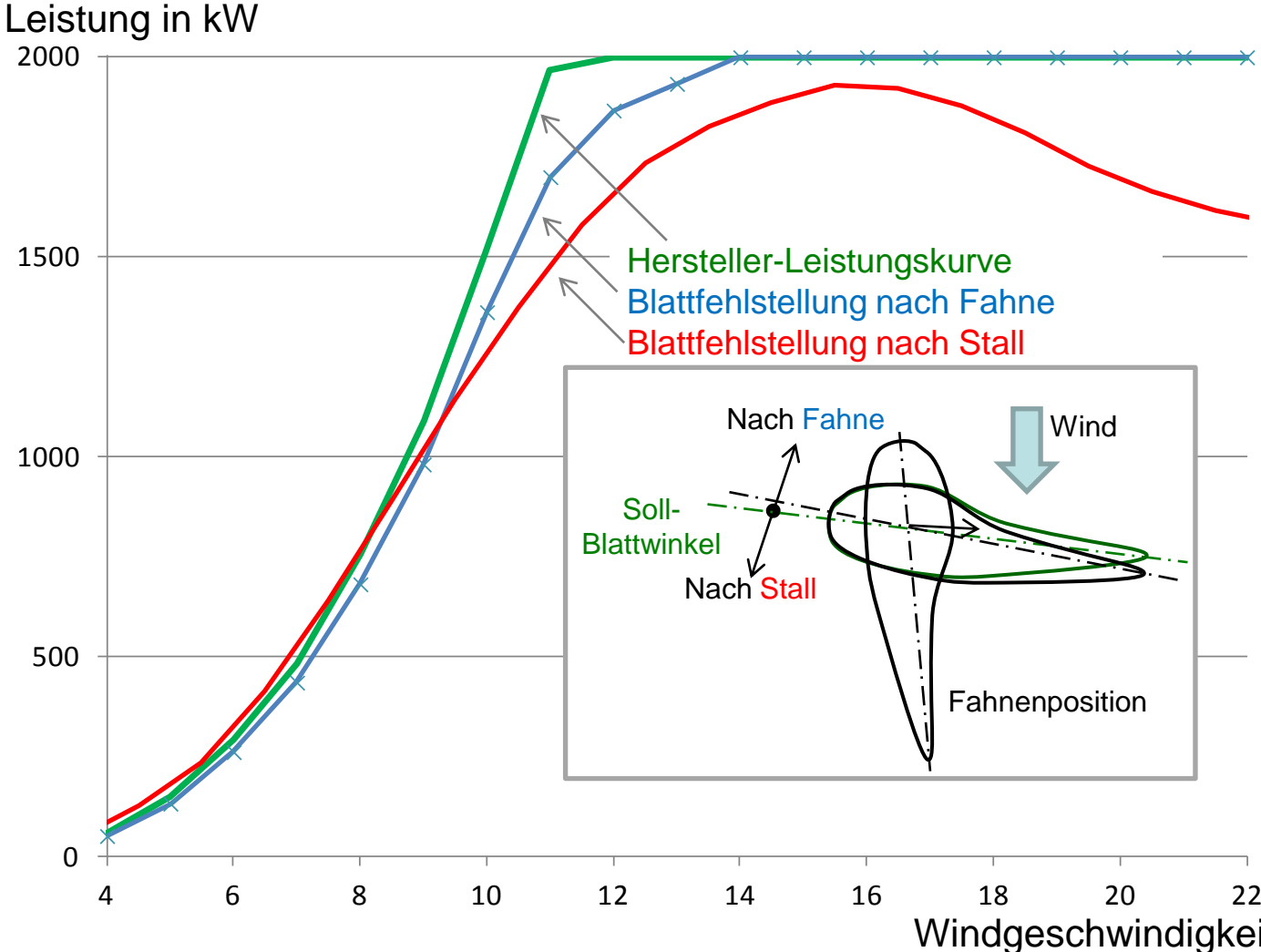
Dr.-Ing. C. Heilmann, www.berlinwind.com, BerlinWind GmbH, Bundesallee 67, 12161 Berlin

- Unternehmensprofil
- Einfluss von Blattwinkelfehlern auf Leistungskurve und Ertrag
- Definition von absoluten und relativen Blattwinkelfehlern
- Woher kommen die Grenzwerte?
- Statistische Ergebnisse zu Blattwinkelfehlern an 277 WEA:
 - Wie viele WEA sind betroffen?
 - Welches Niveau ist zu erwarten?
 - Welcher Ertragsverlust ist im Mittel zu erwarten?
- Indirekte Ertragsverluste durch Blattwinkelfehler-bedingte Schäden
- Kosten-Nutzen-Verhältnis von Blattwinkelmessung und Rotorauswuchten
- Zusammenfassung

- 2009 gegründetes, unabhängiges Ingenieurbüro, Teil der Holding *Corporate Energies Group*
- Mitglied u.a. **BWE-Sachverständigenrat** und AK „WEA-Weiterbetrieb“ sowie AK VDI-3834
- 10 Ingenieure mit **Windenergie-Erfahrung seit über 14 Jahren** in
 - **Rotorauswuchten** 1200+ WEA, 80+ WEA-Typen von 20+ Herstellern: 600W...5+ MW
 - **Lastmesskampagnen bis zu 3 Jahre und über 120 Sensoren**
 - **Consulting, Schadensanalysen, WEA-Performance-Optimierung**
 - **Messtechnik-Lösungen für Spezialmessungen an WEA und Rotoren**
 - BalancingBox zur Rotorunwucht-Prüfung und zum Auswuchten
 - Photometrische und Distanz-Laser basierte Blattwinkelmessung
 - Drei-Ebenen-Auswuchten des WEA-Triebstrangs
 - Kompaktes Lastmessungssystem für Weiterbetriebs-Analyse



Blattwinkelfehler verschlechtern die WEA-Leistungskurve



WEA-Auslegung:
Festlegung des optimalen Soll-Blattwinkels für gewünschte Leistungskurve

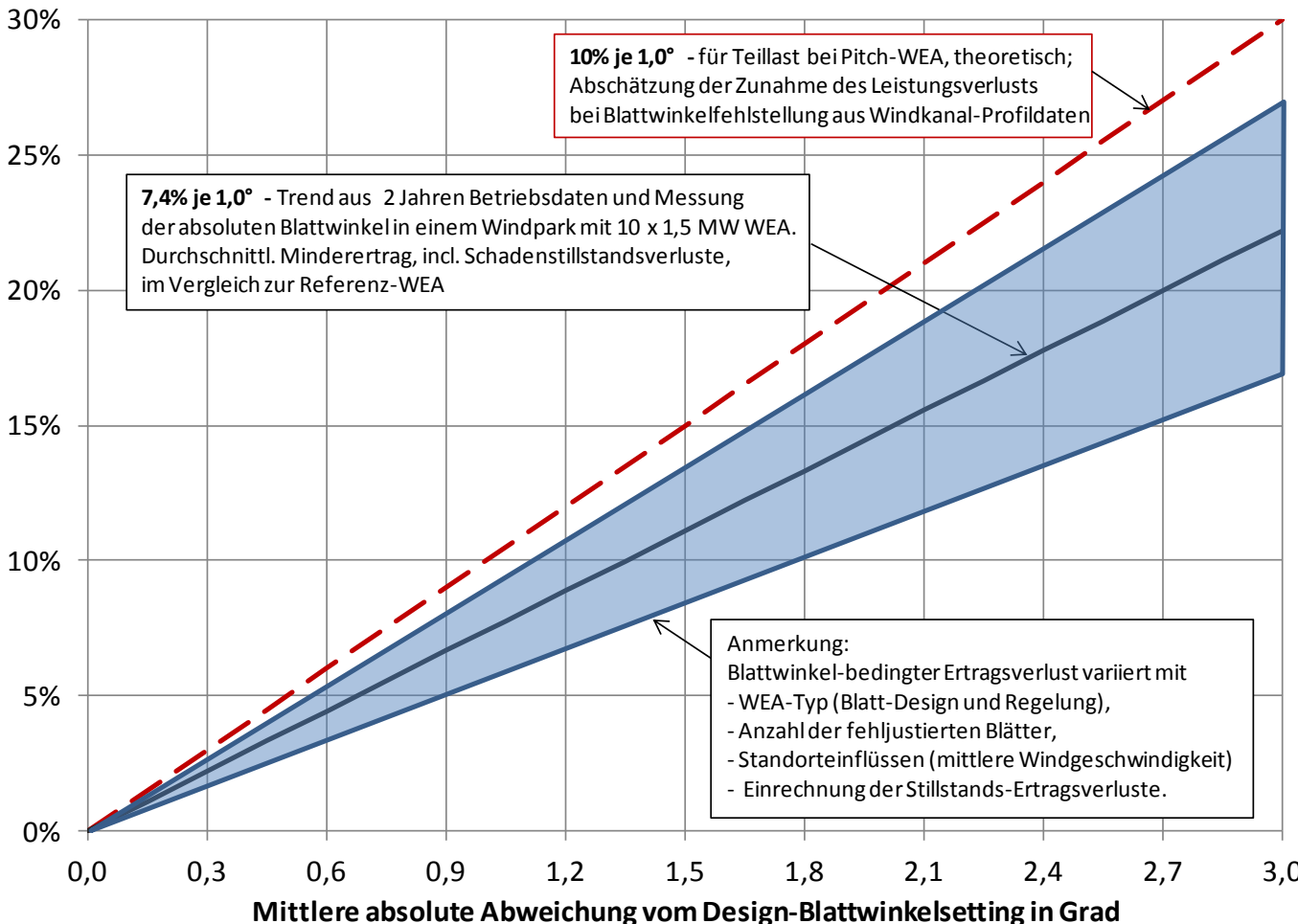
Schlechtere Leistungskurve
= Weniger Ertrag bei gleichem Wind

Justage „nach Stall“:
ggf. leichte Leistungserhöhung aber signifikant erhöhte Schwingungen, d.h. beschleunigte Materialermüdung bei Pitch-WEA

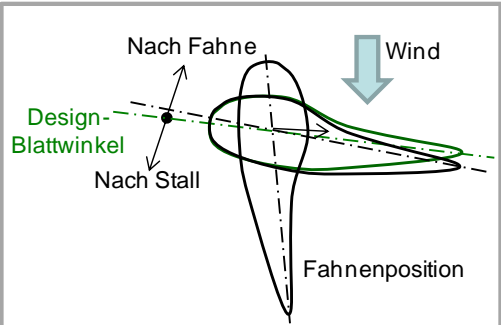
Blattwinkelfehler reduzieren den WEA-Ertrag deutlich



Ertrags- bzw. Produktionsverlust in %



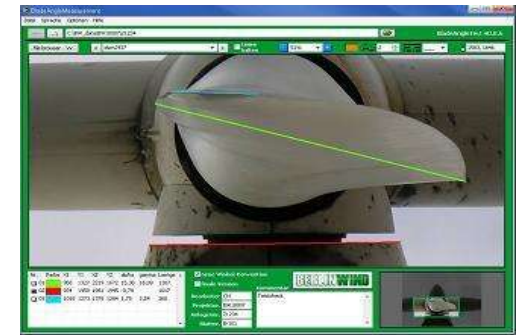
Ertragsverlust streut wegen weiterer Einflussparameter



Woher kommen Blattwinkel-Grenzwerte?

BERLINWIND

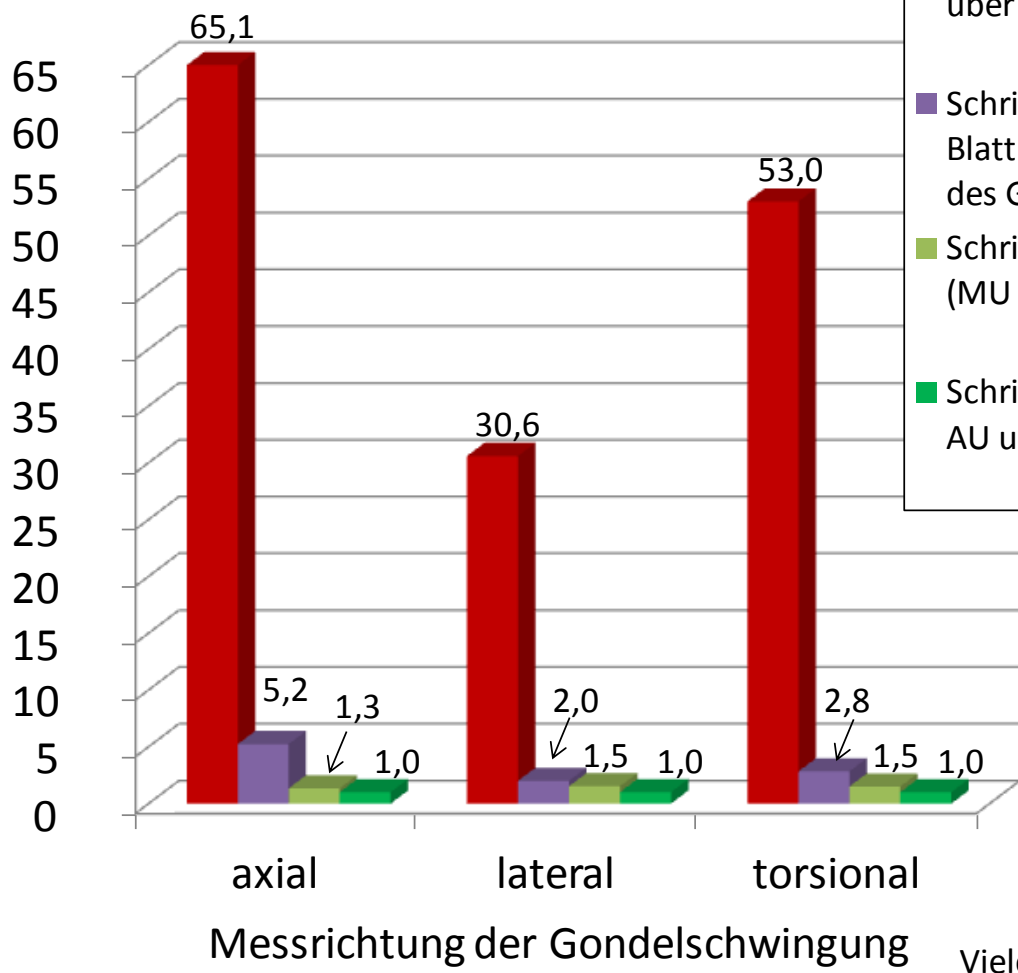
- **Blattwinkelfehler erhöhen Lebensdauerverbrauch**, d.h. Materialermüdung und Schadenskosten steigen, Nutzungsdauer sinkt
- **Nachweis der Stand- und Betriebssicherheit für WEA-Typenprüfung (DIBt-Richtlinie) und Zertifizierung (DIN EN 61400-1, GL-Richtlinie) erfordert Berücksichtigung von definierten maximalen Blattwinkelfehlern** in der Simulation der Betriebslasten für die gesamte Nutzungsdauer
- **Absolute Blattwinkelabweichung...** zum Referenzwert des WEA-/Blatt-Herstellers.
Beispiel:
GL-Richtlinien: Grenzen. +/- 0,3° vorgeschlagen,
OEM: oft strenger, z.B. +/-0,25°
* Für Justage: exakter Soll-Blattwinkel, Grenzwert und weitere Daten notwendig
- **Relative Blattwinkeldifferenz...** der 3 Blätter eines Rotors zueinander:
Grenzwert aus absolutem Grenzwert abgeleitet,
typisch: 0,5 - 0,6°
* Nachteil: Unbekannter Offset zum Soll-Blattwinkel bewirkt weiterhin Ertragsverluste



Durch Blattwinkelfehler bei Multi-MW WEA Schwingungsschäden bis ins Fundament



Normierte Unwuchtamplitude
(richtungsweise normiert auf Werte nach Schritt 3)



- Vor der Justage: Blattwinkeldifferenz 5,8°, über 12faches des Grenzwerts
- Schritt 1: Justage auf den AU-Grenzwert (ein Blatt 0,5°, zweites Blatt 0,2°, MU 1,5 faches des Grenzwerts)
- Schritt 2: Justage deutlich unter AU-Grenzwert (MU weiterhin 1,5 faches des Grenzwerts)
- Schritt 3: Nach Blattjustage und Auswuchten: AU und MU deutlich unter den Grenzwerten



Viele Fundamentrisse nach einem Betriebsjahr

Statistik der absoluten Blattwinkel bei 277 WEA – Wieviele betroffen?

Grenzwerte eingehalten für absolute Abweichung vom Soll-Blattwinkel und für relative Blattwinkeldifferenz
7%

Ertrag und Schwingungsverhalten normal

Grenzwert für absolute Abweichung vom Soll-Blattwinkel überschritten, aber für relative Blattwinkeldifferenz eingehalten
43%

☹ Ertragsverluste,
☹ Schwingungsschäden

Grenzwertüberschreitung für absolute Abweichung vom Soll-Blattwinkel und für relative Blattwinkeldifferenz
50%

☹ Erhöhte Ertragsverluste
☹ Vermehrte Schwingungsschäden

7% unter abs. GW

76% über 2*GW (0,6°)

50% über 3,5*GW (1,1°)

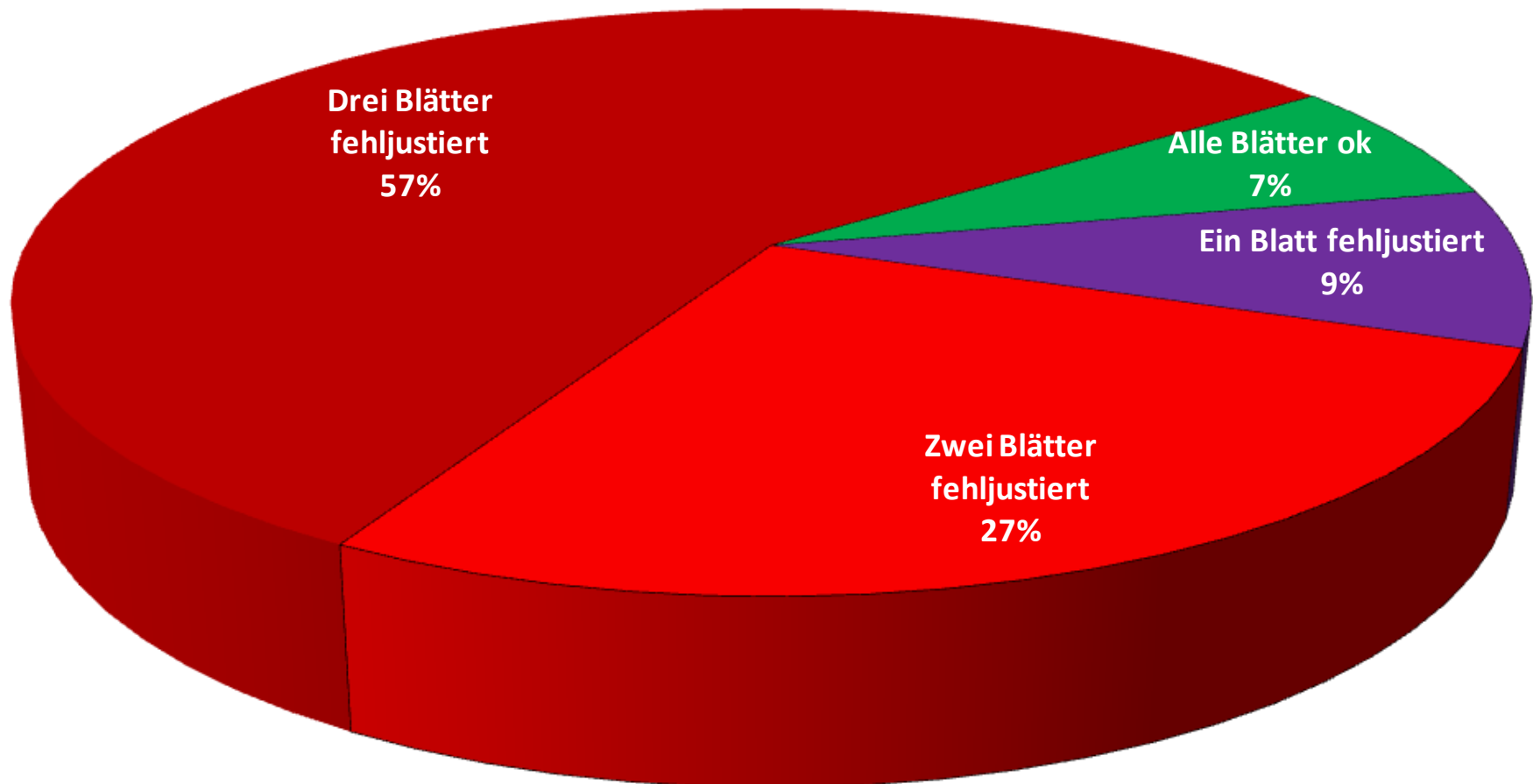
25% über 6*GW (1,8°)

5% über 18*GW (5,4°)

- Verfahren: Photometrische, statistisch sichere Blattwinkelmessung
- Stichprobe: 277 WEA mit und ohne Verdacht untersucht, teilweise komplette Windparks
- 70% mit Nennleistung ≥ 2 MW, mittlere Leistung 2 MW

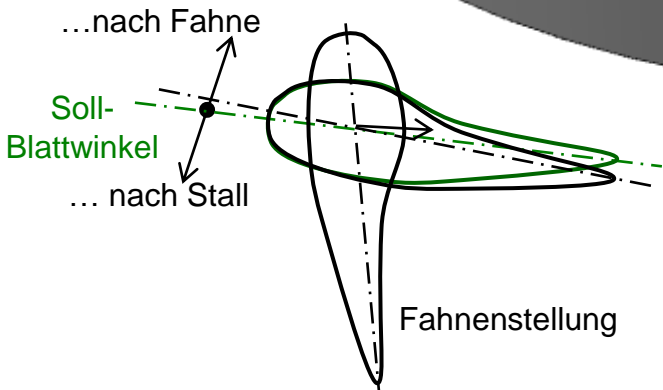
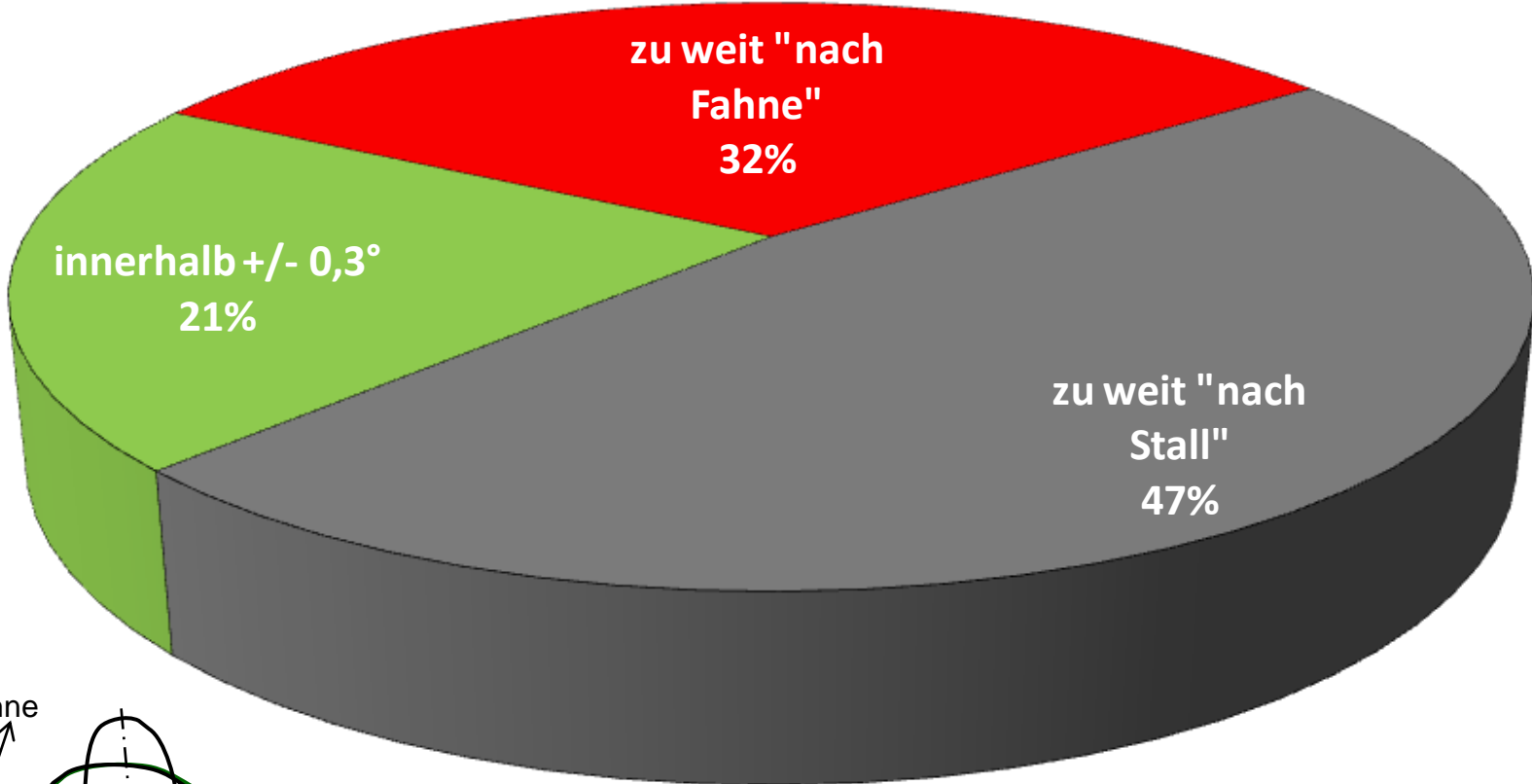
Höherer Ertrag durch
korrekte Blattwinkeljustage

Statistik der absoluten Blattwinkel bei 277 WEA – Betroffene Blätter je Rotor



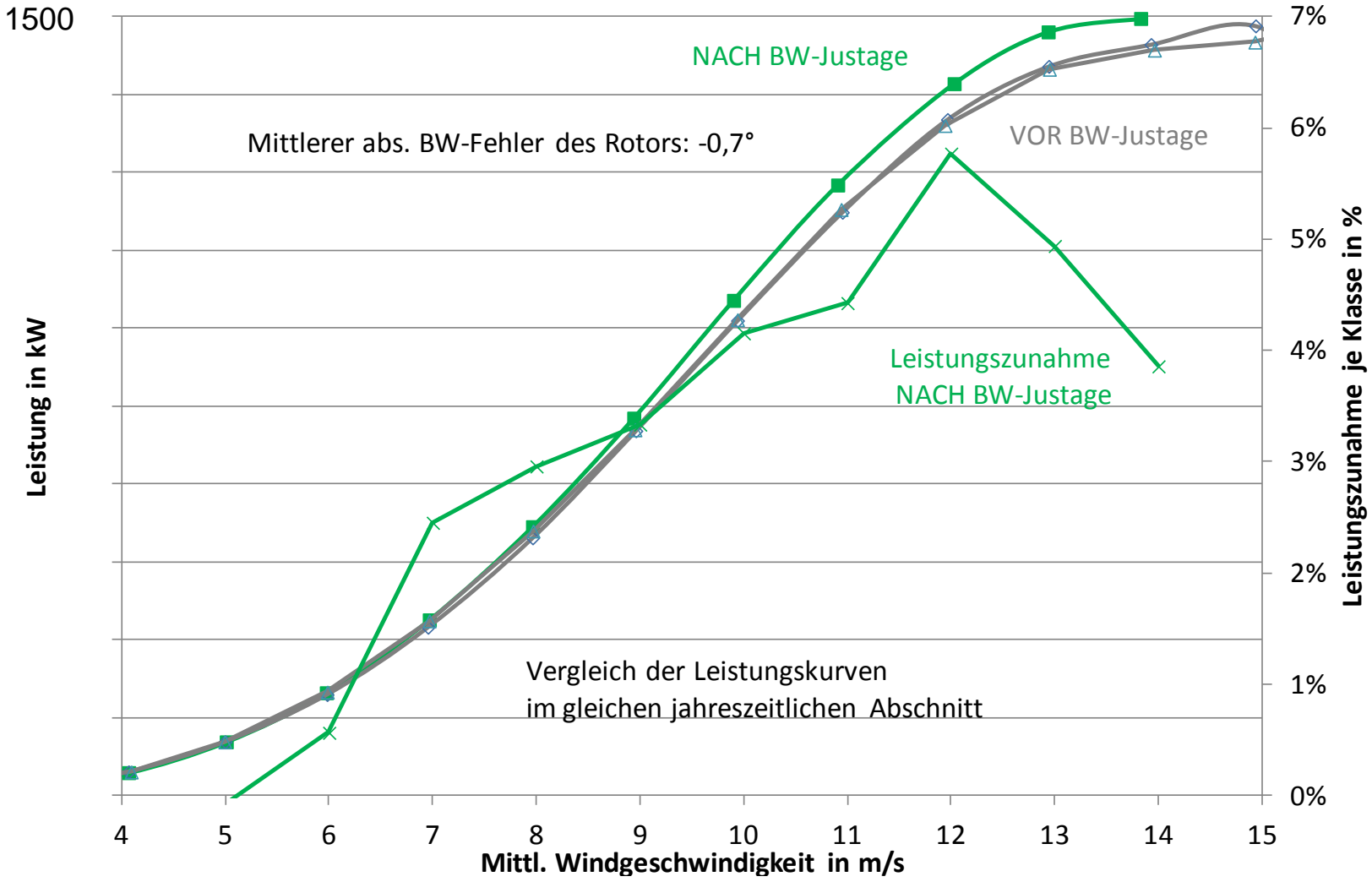
- **Relative Blattjustage...** bei 84% der Rotoren nicht ausreichend, bei 27% würde drittes, korrektes Blatt aus den zulässigen Grenzen heraus justiert!
- Nur absolute Blattwinkelmessung findet alle betroffenen Blätter

Statistik der absoluten Blattwinkel bei 277 WEA – 831 Einzelblätter



- Im Schnitt je Rotor mehr als ein Blatt betroffen
- Mittelwert $-0,34^\circ$, Standardabweichung $1,9^\circ$
- Extreme: $-8,8^\circ$ und $+ 11,8^\circ$
- Mittlerer Ertragsverlust je 2 MW WEA der Stichprobe: **9,4%**

Leistungskurvenverbesserung durch Justage absoluter Blattwinkel



Alle Stadien des WEA-Lebenszyklus sind betroffen:

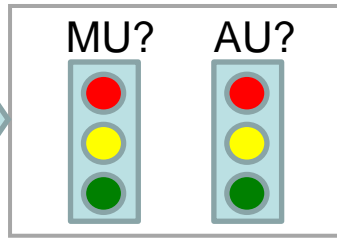
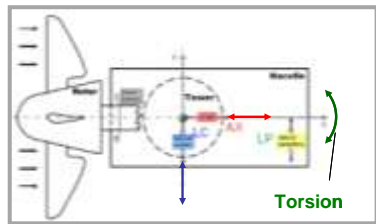
Design, Produktion, QM, Lagerung, Transport, Errichtung+IBN, Betrieb

- Justage-unfreundliches Design
- QM: Fehlende / falsch sitzende Blattmarken
- Unkorrekte BW-Einstellung, u.a. wegen schwieriger Prozedur und bedingt taugliche, ungenaue Hilfsmittel
- Controller-Änderungen, Software-Updates
- Pitch-System-Störungen, -Leckage, -Reparaturen,
- Pitchgeber-Tausch, Blattlager-Tausch, ...
- Schlechte Dokumentation (Rücknahme von Justagen)
- Verbogene Blätter
(Falsche Lagerung oder Stillstand mit Rotor-Arretierung)

Optimierte Kombination von Schwingungsmessung mit optischer Blattwinkelmessung



Schwingungsmessung zur WEA-Unwuchtprüfung bei definierten Messbedingungen auf MU und AU



MU- und AU-Kennzahlen

Aufnahme von Fotoserien

Blattwinkelgrenzwert, Design-Blattwinkel

Statistische Auswertung

Blattjustage notwendig?

Schwingungsmessung zur Qualitätskontrolle und MU-Prüfung

Blattwinkeljustage

Schwingungsmessung Rotor-Urzustand

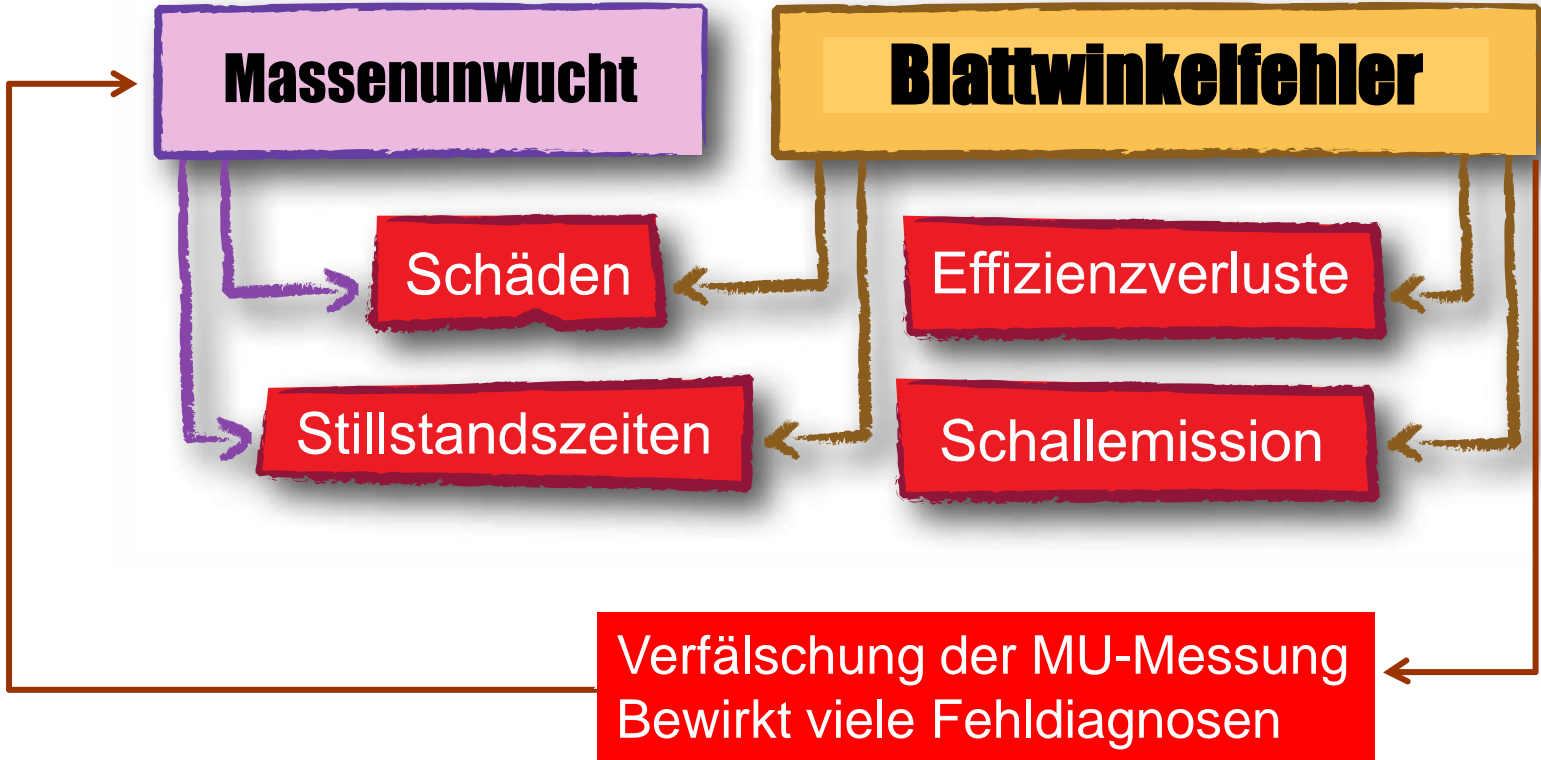
Anbringen MU-Kalibriermasse

Schwingungsmessung zur MU-Bestimmung

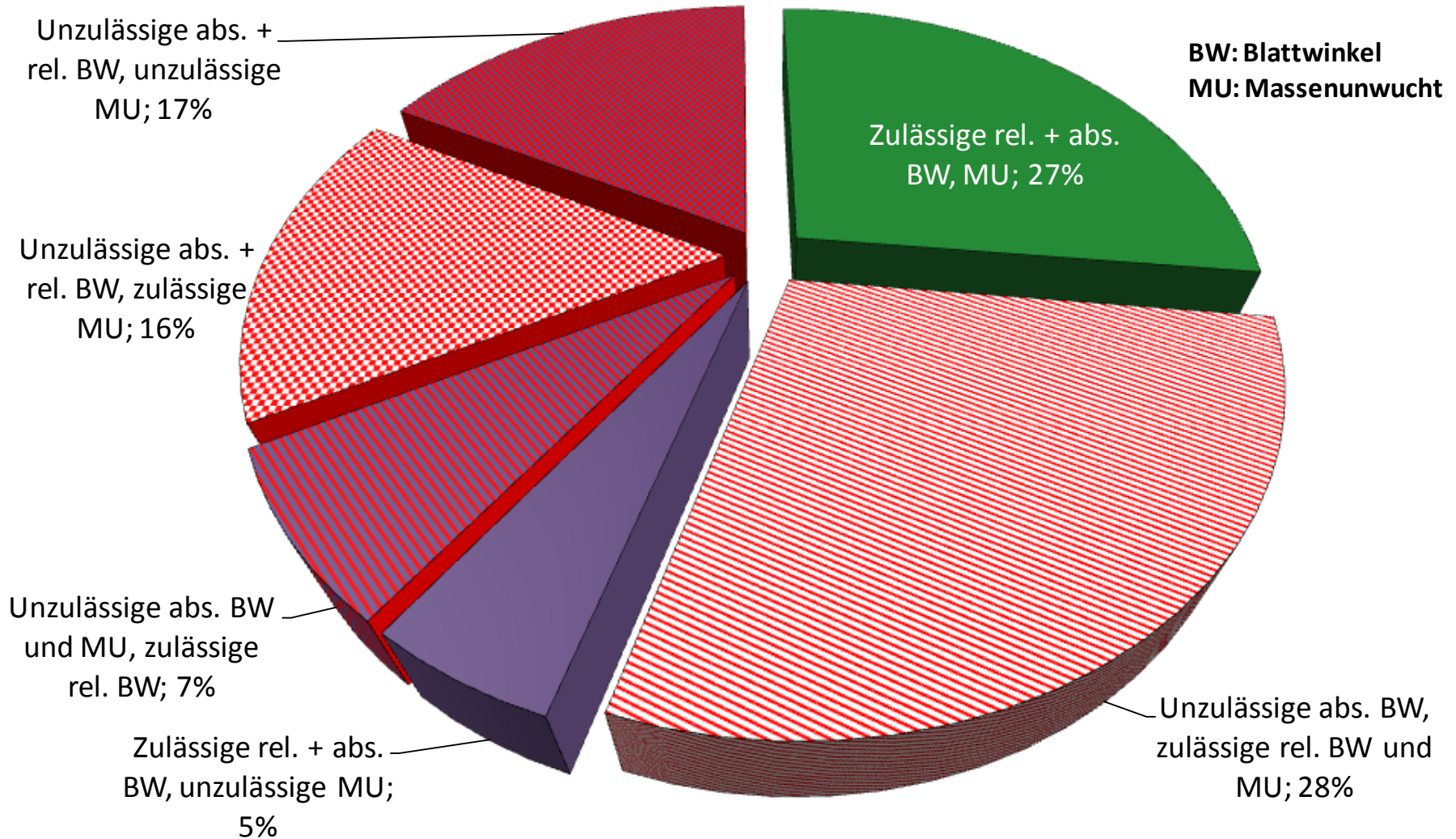
Anbringen der Ausgleichsmassen

Schwingungsmessung zur Qualitätskontrolle

Vielfältige Folgen von Blattwinkelfehlern mit entsprechenden Folgekosten



Blattwinkelfehler und / oder Massenunwucht an mehr als 70% aller WEA



Kombination der Studie 2014 an 277 WEA zu absoluten Blattwinkeln und der Studie zu verdachtslos geprüften WEA (EWEA2013)

Kosten-Nutzen-Verhältnis im WEA-Leben von Blattwinkeljustage und Auswuchten



„Worst case Unwucht-Folgekosten“ mit 5 betroffenen WEA und BW-Ertragsverlust 40T€ p.a., 2 WEA fallen 2 Jahre eher aus

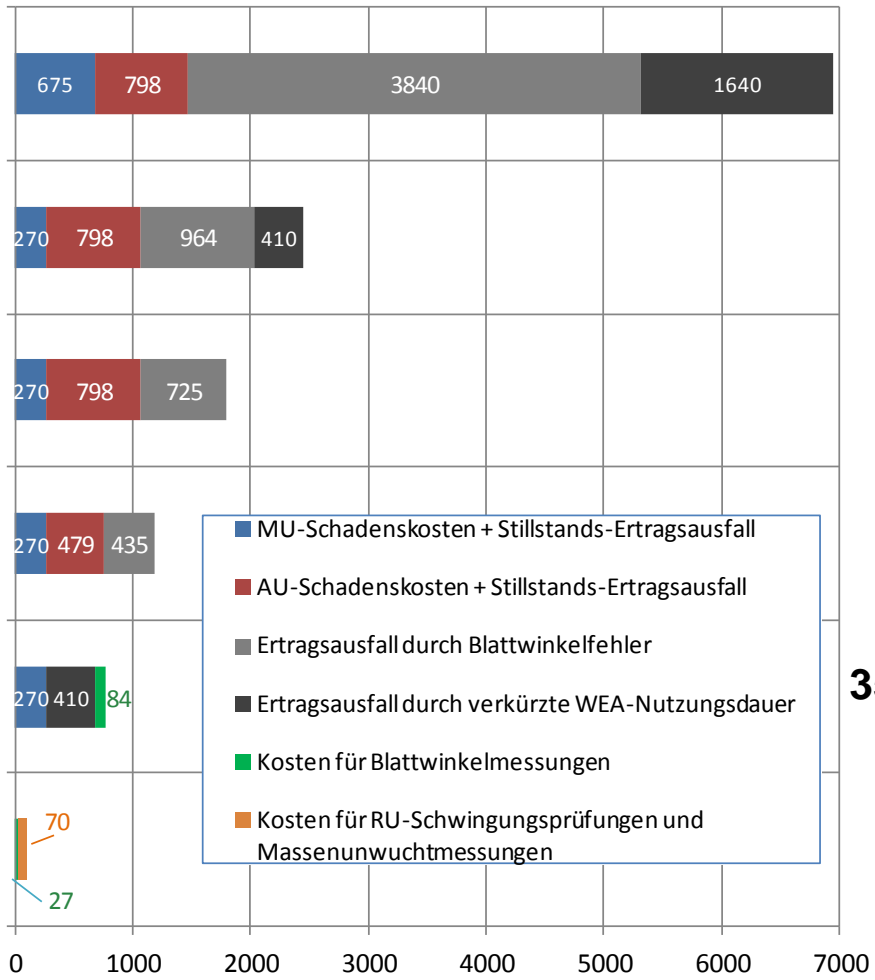
„Moderate Unwucht-Folgekosten“ mit 5 betroffenen WEA und BW-Ertragsverlust 10T€ p.a., 1 WEA fällt 1 Jahr eher aus

„Moderate Unwucht-Folgekosten“ mit je 5 betroffenen WEA und AU-Ertragsverlust 7T€ p.a.

„Moderate Unwucht-Folgekosten“ mit je 3 betroffenen WEA und AU-Ertragsverlust 7T€ p.a.

Strategie 2: Periodische BW-Messung aller WEA, keine Schwingungsmessungen, 1 WEA fällt wegen MU 1 Jahr eher aus

Strategie 1: Optimiertes, periodisches Komplett-Wuchten (BW- und MU-Messung), häufige betriebsbedingte Unwucht



Summe

6953 T€

2442 T€

1793 T€

1184 T€

354-764 T€

97 T€

Fallstudie für Windpark 10x 2 MW Pitch-WEA mit je 410 T€ Jahresertrag

Schadens- und Ertragsausfallkosten sowie Messkosten in 20 Jahren in T€

- **Design-Grenzwerte für Blattwinkelfehler aus der WEA-Auslegung sind "Null-Toleranz"-Grenzwerte** bezüglich der Überschreitung, da sonst unzulässiger Lebensdauerverbrauch (sowie Renditegefährdung)
- **Unwuchtstatistik: knapp 70% der verdachtslosen WEA mit unzulässigen Blattwinkelfehlern**
- **Absolute Blattwinkelfehler bei 277 WEA: 93% der untersuchten WEA über absolutem BW-Grenzwert**, hoher Anteil davon für relative Blattwinkel-Messung „unsichtbar“, da zulässige Blattwinkeldifferenz:
→ **Heutige Standardmethoden** für Blatt- und Rotor-QM sowie BW-Justage sind oft **unzureichend**
- **Signifikante Erhöhung der Stromgestehungskosten und Ertragsminderung durch RU**, bei betroffenen WEA im Mittel über **10% des Jahresertrags**
...durch Schäden, Folgeschäden, Stillstand, Ertragsverlust, MU-Fehldiagnosen
- **Unwucht-Folgekosten um ein Vielfaches höher als die Messkosten**
- **Qualität der Gesamtstrategie zur WEA-Schwingungsberuhigung und Performance-Optimierung entscheidend für die Anzahl an detektierten betroffenen WEA und das finanzielle Plus** (...oder Minus bei Fehldiagnosen):
 - Geeignete kosteneffiziente Blattwinkel-Messmethoden sind erprobt und verfügbar.
 - Statistisch abgesicherte Auswertung und Berücksichtigung von Twistfehlern notwendig
 - Schwingungstechnische Validierung der Blattwinkel-Justage ist notwendiger Bestandteil
- **Unabhängige Blattwinkelmessung und validierte Blattwinkel-Justage bringen die WEA in ihren Sollzustand, sind also konform mit WEA-Zertifizierung/-Typenprüfung**, sofern richtige Grenzwerte verwendet werden. Erst danach ist ggf. weiteres "WEA- und Rotor-Tuning" langfristig nutzbringend.
- **WEA mit gut justiertem Rotor sind zuverlässig und hocheffizient und haben eine lange Nutzungsdauer!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
Fragen?



BerlinWind GmbH
Bundesallee 67, 12161 Berlin,
Germany
Tel.: +49 30 688 3337 40
Email: info@berlinwind.com
Internet: <http://www.berlinwind.com>