

Verlust durch Rotorunwucht

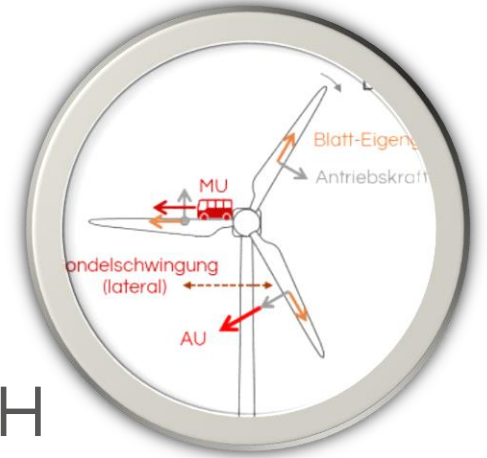


greenwind

Mit der Kraft des Windes

Green Wind Engineering GmbH

Christoph Heilmann, Michael Melsheimer



29. Windenergietage

Potsdam 2021, 11. Nov 2021,

Forum 5: O&M / Weiterbetrieb & Instandhaltung



Inhalt

1. Erfahrungsschatz & Dienstleistungen
2. Rotorunwucht-Häufigkeit und -arten
3. Verluste durch Rotorunwucht
4. Auswirkungen im WEA-Leben
5. Abhilfe durch lebenslanges Auswuchten

Engineering Knowledge Base

- 22+ Jahre Rotorunwucht-Messungen (on- & offshore)
- 17+ Jahre photogrammetrische und laserbasierte Blattwinkelmessung (on- & offshore)
- 19+ Jahre Erfahrung mit Lastmessungen inklusive Blatttests und Messungen an rotierenden Teilen
- 10+ Jahre Weiterbetrieb/ Messungen zu WEA-Lebensdauer
- 7+ Jahre videobasierte Messungen
- 30+ Beraterprojekte mit Kundenprojektumfang von > 1MRD EUR
- 35+ Projekte zur Ursachenforschung
- Erfahrung mit Errichtung und Inbetriebnahme von Windparks
- 60+ Veröffentlichungen und Vorträge auf Konferenzen



Dienstleistungen

- Messungen der Blattwinkel (on- & offshore)
- Messungen der Rotorunwucht (on- & offshore)
- In-situ Mehrebenen-Auswuchten von rotierenden Maschinen
- Lastmessungen, Schwingungen, Eigenfrequenzen
- Videobasierte Messungen
 - Blatt-Turmfreigang
 - Blattverwindung im Betrieb
 - Gondelbewegung 2D
- Technische Beratung, Ursachenforschung
- Owner's Engineer, Bauleitung, Inbetriebnahme
- Gutachten und Technische Due Diligence



Häufigkeit von Rotorunwucht

Rotorunwucht-Statistik 2018

Methode :

Kombination der Unwucht-Statistik 2013 für

240 verdachtslos geprüfte Serien-WEA

mit Blattwinkel-Statistik 2018 für 500 WEA-Rotoren

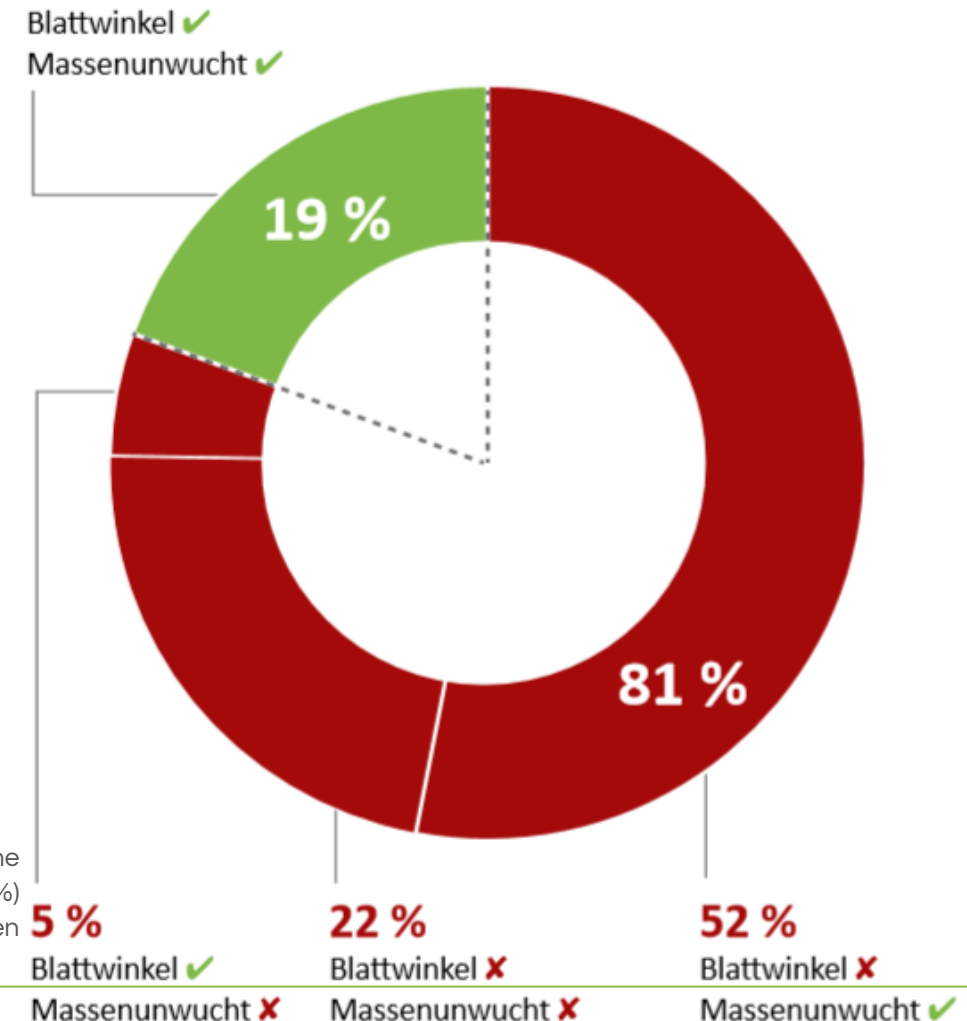
Quelle 1: C. Heilmann, M. Melsheimer :
WID-FACHARTIKEL (KEINE für den BWE!) :

Auswuchten von WEA-Rotoren:

Wirtschaftliche Vorteile und technische Umsetzung, 2020

<https://www.windindustrie-in-deutschland.de/expertenwissen/seite/auswuchten-von-wea-rotoren-wirtschaftliche-vorteile-und-technische-umsetzung>

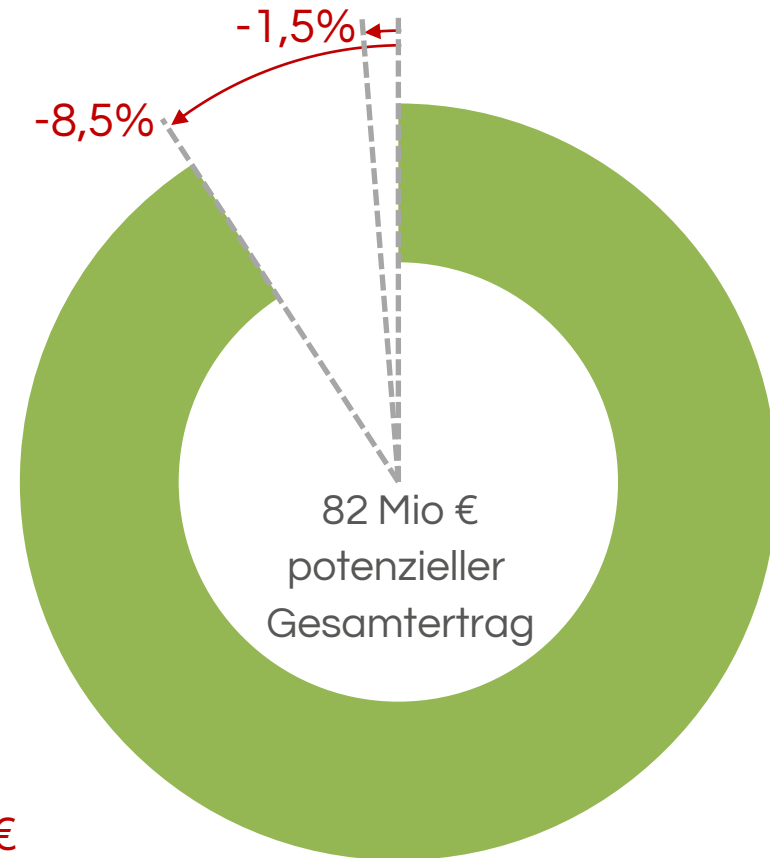
11.11.2021, Windenergietage 2021, Potsdam, Verlust durch Rotorunwucht, Green Wind Engin



Unwucht-bedingten Verluste

Unwucht-Kostenstudie

- 10 x 2 MW Windpark in DE
- Jahresertrag 4,1 Mio € p.a.
- 20 Jahre Betriebszeit
- **Gesamtertrag: 82 Mio €**
- Kosten + Minderertrag durch Massenunwucht sowie absolute und relative Blattwinkelfehler
- 8 von 10 WEA von Unwucht betroffen im Schnitt
- **Unwucht-bedingte Verluste: 1,2 bis 7,0 Mio €**
relativ zum potenziellen Gesamtertrag: -1,5...-8,5%



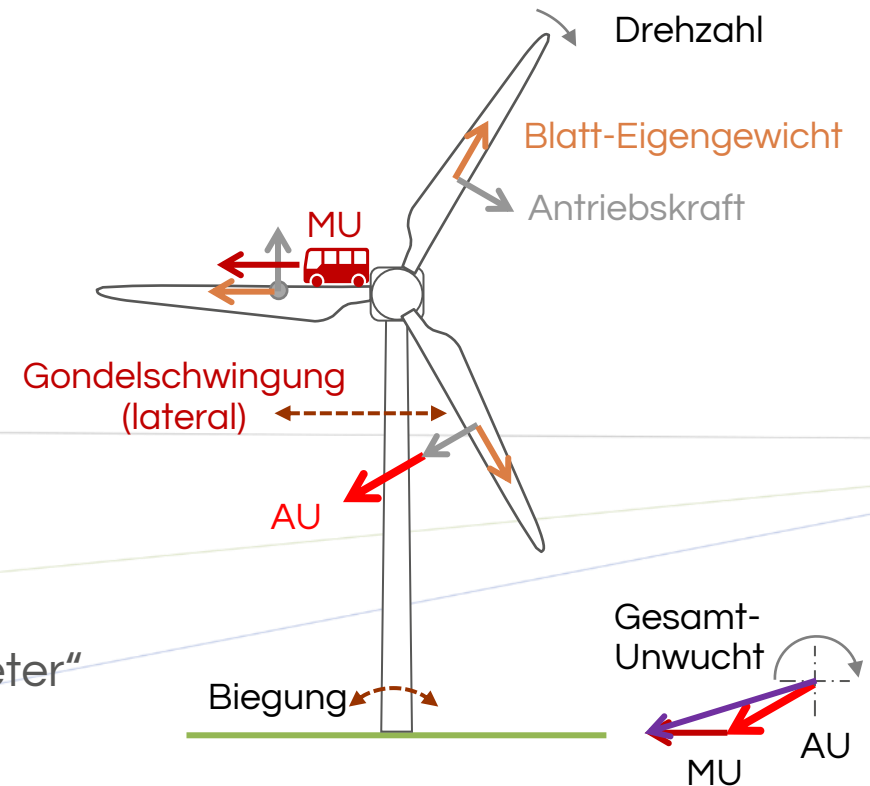
Quelle: Grunwald, Heilmann, Melsheimer, Boost Wind turbine Yield and Life expectancy through rotor blade angle correction , EWEA 2015

Auswirkungen von Rotorunwucht



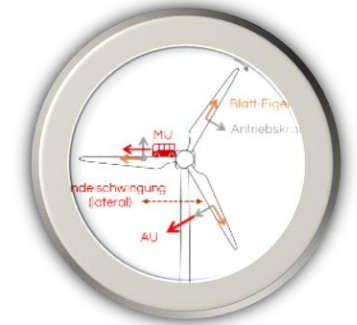
Schädliche Kräfte in Rotorebene durch Unwucht

- **Fliehkräfte:**
 - durch **Blatt-Eigengewicht**... ist unvermeidbar
 - durch **Massenunwucht (MU)**... ist vermeidbar
- **Umfangskräfte**
 - **Antriebskraft** (Rotor-Drehmoment)... ist unvermeidbar
 - durch **aerodynamische Unwucht (AU)**... ist vermeidbar
- Rotierende **Gesamt-Unwucht = „AU + MU“**
Überlagerung der Unwucht-Kräfte in Rotorebene
- Multi-MW WEA:
Massenunwucht oft mehrere 100 kg m ... bis „Tonnen-Meter“
Rekorde: 12.000 kg m = 6 t bei 2 m Radius
12° Blattwinkelfehler



Rotorunwucht im gesamten WEA-Leben prüfen

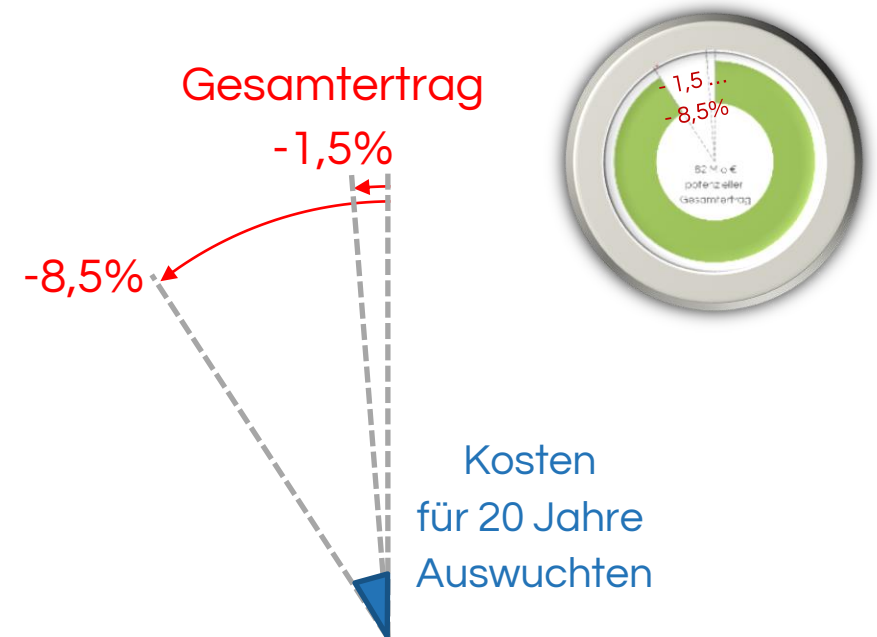
- **WEA-Auslegungs-Normen und –Richtlinien fordern definierte Grenzwerte für Massenunwuchten und Blattwinkelfehler SEIT 1993!**
bei den WEA-Design-Simulationen (Betriebslasten)
DIN EN 61400-1, DIBt-Richtlinie (1993-2012) , DNV-GL- Standards,
DIN EN 21940-13 zum Betriebsauswuchten großer Rotoren, WEA-Auswucht-Anhang in der VDI-Richtlinie 3834-1
- **Schlussfolgerung: Lebenslange Rotorunwucht-Überprüfung notwendig**
- **Mobile Messungen periodisch an jeder WEA möglich**
- **Zusätzliche Messungen nach größeren Reparaturen, bei wiederkehrenden Schadensbildern, usw.**
- **Monitoring – Zustandsüberwachung (wenig implementiert)**
- Bei WKP bisher keine explizite systematische Ursachenforschung Richtung Unwucht üblich
- Offt wird Auswuchten wegen vermeintlicher Kosteneinsparung unterlassen



Verluste vermeiden durch Auswuchten

- Verluste um Faktor 6 bis 35 höher als Auswuchtkosten einer sorgfältigen periodischen Unwuchtprüfung
- Nur geeignete Messverfahren und Gesamt-Prozedur bekommen ALLE Verluste in den Griff
- Geeignete Messtechnik und –verfahren nutzen!

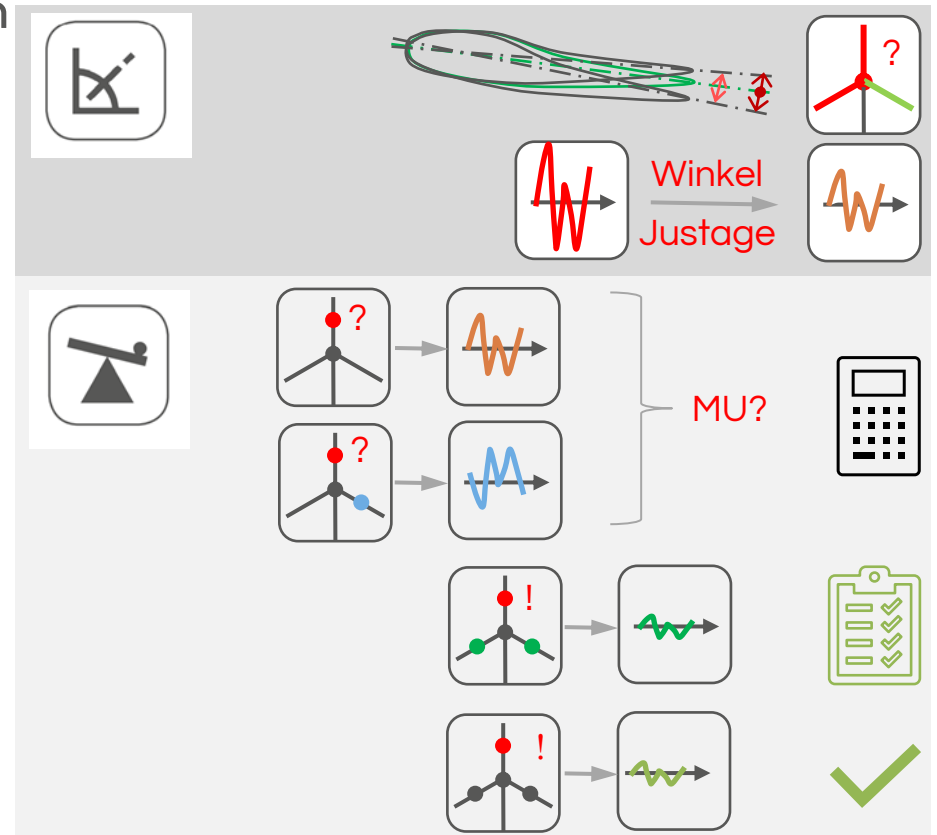
Beispiel: - Blattwinkelgrenzwert: +/- 0,3° ->
 Messgenauigkeit muss deutlich besser sein!
 (z.B. bei photometrischer Messung typ. 0,1°)
 - Geeignete Unwucht-Messprozedur
 mit aussagekräftigem Betriebszustand



Dynamisches Auswuchten von WEA-Rotoren

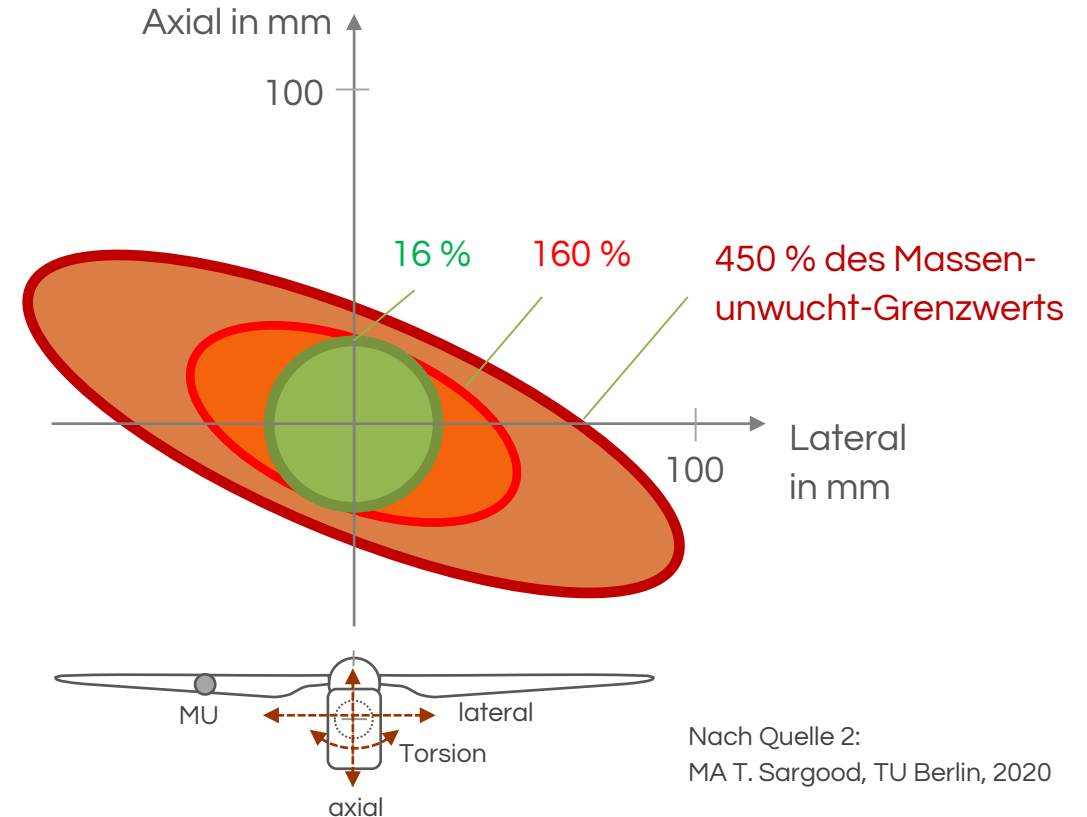
Neun wichtige Auswucht-Schritte bei Windenergieanlagen

1. Optische Messung der Blattwinkel (absolut + relativ)
2. Überprüfung aerodynamischer Probleme mittels Schwingungsmessung (Qualitätskontrolle)
3. Messung der Unwucht (Schwingungsmessung)
4. Anbringen von Testgewichten zur Kalibrierung
5. Messung der veränderten Unwucht
6. Berechnung der Urunwucht
7. Überprüfung mit Testgewichten (Qualitätskontrolle)
8. Endgültiges Einbringen von Auswuchtgewichten
9. Finale Überprüfung der Schwingungen (Qualitätskontrolle)



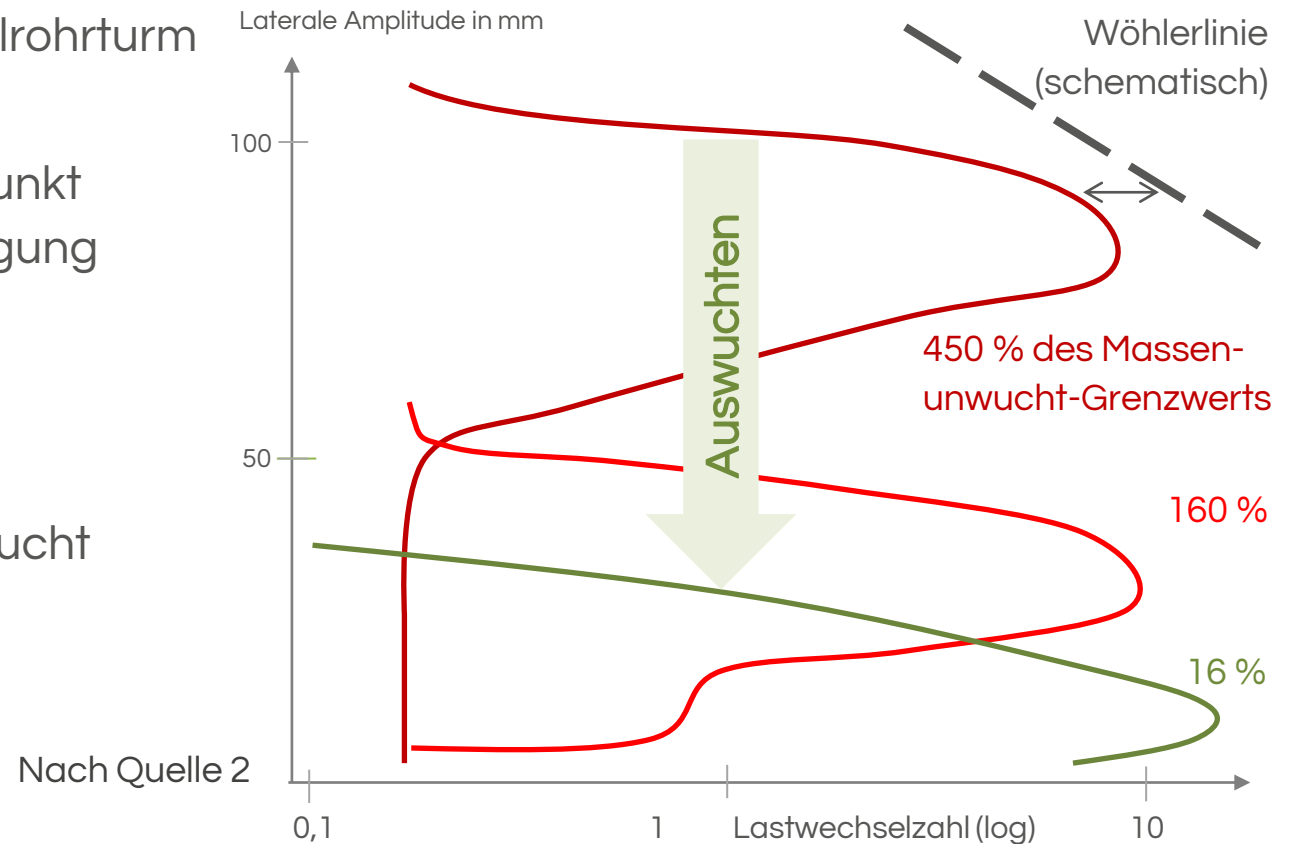
Gondel-Orbit bei Massenunwucht

- Messung an Multi-MW WEA mit Stahlrohrturm
- **Gondel-Orbit =**
Unwucht-bedingte 2D-Gondel-Schwingung für $t = 600s$, gleicher Betriebspunkt bei n_{rated}
gleitende Mittelwertbereinigung
- **Alle Turmkopf-Komponenten erleben dies JEDE Umdrehung**
- Axial-Schwingung durch Massenunwucht wegen Rotor-Tilt -> Verfälschung von Blattwinkelfehler-Messung mittels Axialsensor, Boden-Laser usw.,
2-Achs-Sensor aus CMS ungeeignet



Massenunwucht erhöht Lebensdauerverbrauch

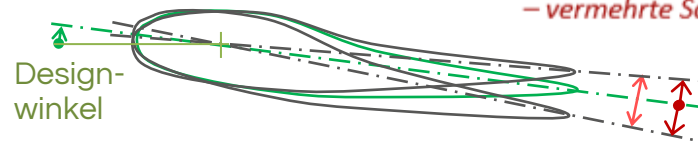
- Messung an Multi-MW WEA mit Stahlrohrturm
- Lastkollektive für gleichen Betriebspunkt bei n_{rated} , gleitende Mittelwertbereinigung
- Je Unwuchtzustand Mittelung mehrerer 10min-Zeitreihen (Statistik)
- Signifikant erhöhte Level der Lastwechsel-Amplituden durch Unwucht
- Bei Unwucht exponentiell höherer Lebensdauerverbrauch, schnellere Materialermüdung



Häufigkeit relativer und absoluter Blattwinkelfehler

Blattwinkelstatistik 2018 – 500 Rotoren

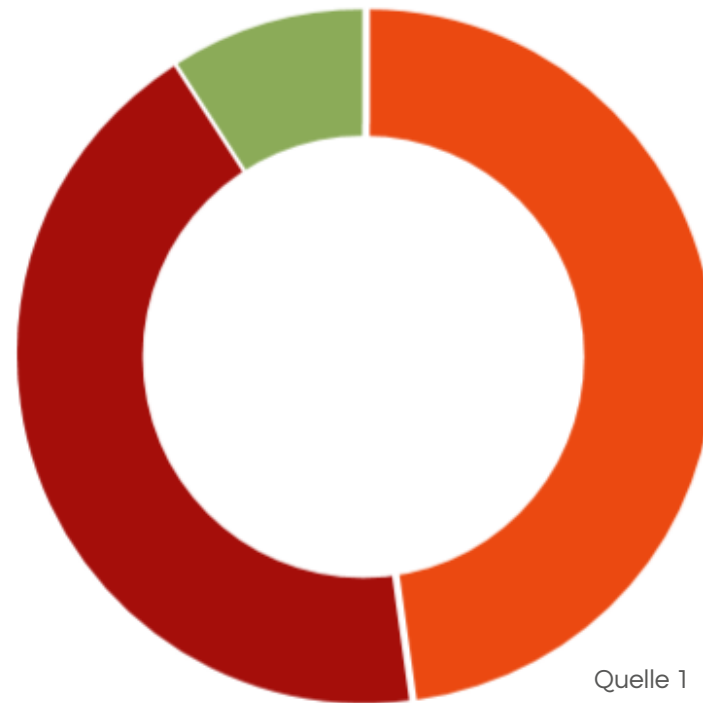
- Verwendete Blattwinkel-Grenzwerte
 - absolut: +/- 0,3° (nach z.B. GL2012)
 - relativ 0,6°
- Fehljustierte Blätter je Rotor:
 - 1 Blatt: 14%
 - 2 Blätter: 22%
 - 3 Blätter: 51%



- Definition Blattwinkelabweichung
- absolut (zum Designwinkel)
 - ↔ relativ (Blätter zueinander)

43 %
 Grenzwertüberschreitung für absolute Abweichung vom Soll-Blattwinkel und für relative Blattwinkeldifferenz.
 – Erhöhte Ertragsverluste
 – vermehrte Schwingungsschäden

9 %
 Grenzwerte eingehalten für absolute Abweichung vom Soll-Blattwinkel und für relative Blattwinkeldifferenz.
 + Ertrag und Schwingungsverhalten normal



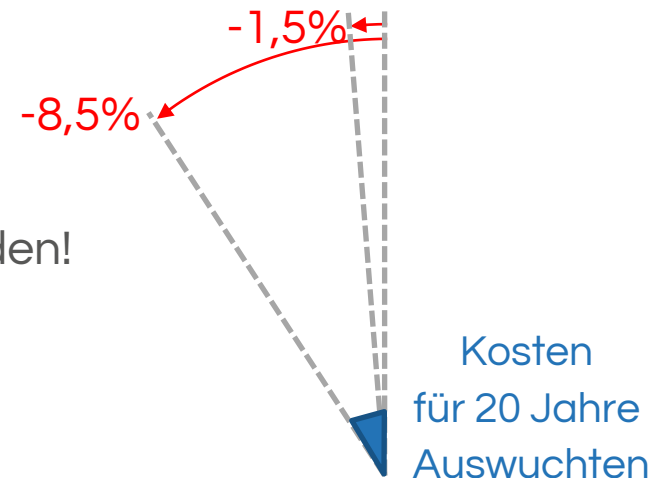
48 %
 Grenzwerte für absolute Abweichung vom Soll-Blattwinkel überschritten aber für relative Blattwinkeldifferenz eingehalten.
 – Ertragsverluste
 – Schwingungsschäden

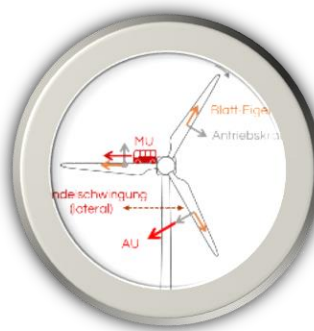
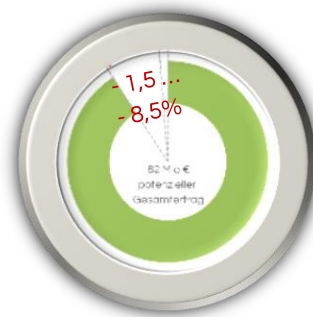
Nur mit absoluter Blattwinkelmessung detektierbar!

Quelle 1

Verluste vermeiden durch Auswuchten

- Verluste um Faktor 6 bis 35 höher als Auswuchtkosten einer sorgfältigen periodischen Unwuchtmessung
- Verschleiß und Schäden reduzieren durch niedrigere Lasten
- Ertrag sichern
- Weiterbetriebspotenzial erhalten
- Geeignete, präzise Messverfahren verwenden!





Green Wind Engineering GmbH

Auswuchten, Gutachten und maßgeschneiderte Messkampagnen, um Lösungen für unsere Kunden zu finden. Weltweit.

Green Wind Energy GmbH

Projektentwicklung inklusive Repowering von Windenergieanlagen in Deutschland und Dänemark.

Green Wind Operations GmbH

Technische und kaufmännische Betriebsführung von Windenergieanlagen und Umspannwerken zu Land in Deutschland und Dänemark.

Green Wind Offshore GmbH

Instandhaltungsmanagement und Überwachung von Offshore-Windenergieanlagen sowie für HGÜ und Umspannwerke.

Green Wind Denmark ApS

Repowering sowie technische und kaufmännische Betriebsführung onshore und offshore, Geschäftsstelle Dänemark/Aarhus.

Green Wind Group
Alt-Moabit 60a
10555 Berlin
www.greenwindgroup.de

Tel.: +49 30-351 2886 58
berlin@greenwindgroup.de

Green Wind Denmark ApS
Egå Havvej 21
DK-8250 Egå
www.greenwindgroup.dk

Tel.: +45 86 22 62 00
info@greenwindgroup.dk