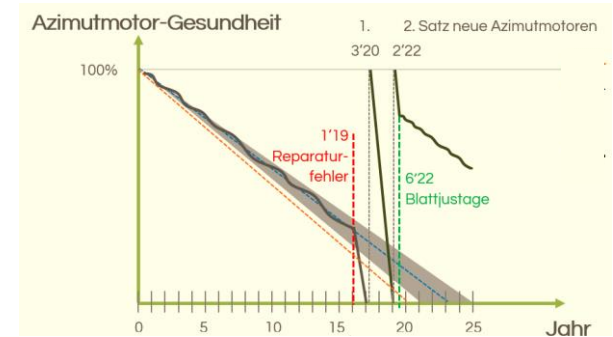


Der schlaue Asset-Manager wuchtet aus!



greenwind

Mit der Kraft des Windes



Green Wind Engineering GmbH

Michael Melsheimer , Christoph Heilmann

31. Windenergietage 2023 „Brot und Spiele“,
Potsdam, 9.11.2023, Forum 12 B:
Mehr-Wert mit der Kraft des Windes



Inhalt

1. Dienstleistungen
2. Unwucht-Statistik und Marktbegleiter-Statistiken
3. Verdachtslose Statistik 2023 von 30 WEA
4. Fallbeispiel 4 Grad relativer Blattwinkelfehler Lebensdauereinfluss und lessons learned
5. Unwucht und IEC 61400-28 für Asset-Management und Weiterbetrieb



Dienstleistungen

- Messungen der Blattwinkel (on- & offshore)
- Messungen der Rotorunwucht (on- & offshore)
- In-situ Mehrebenen-Auswuchten von 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



Referenzen

WEA-Hersteller	WEA-Typ (Verschiedene Blatt-Typen, Nabenhöhen und Turmarten nicht berücksichtigt)	Farbcode der durchgeführten Messungen
Areva (Multibrid)	M5000, M5000-135	Blattwinkel
BARD	BARD 5.0	Massenunwucht
Clipper	C96	Blattwinkel und Massenunwucht
Conergy	CPW56	
DeWind	D4, D6-1000	
Enercon	E30, E40 5.3	01-FT, E101 FTQ, E115, E141 EP4FTQ
ENO	ENO82, EN1	
Fuhrländer	FL1500, FL2	
FWT	FWT3000, F	
GE Wind Energy (Alstom Ecotecnia)	GE TW 600, GE2.85, GE	132, GE2.5xl, GE2.75-120, GE2.8, GE2.8-127, Eco122, Haliade 150-6MW offshore, HAL X 12MW
Goldwind	GW121/250	
Made	AE-61	
MTOI	TWT-1.65-R	
M Torres	70/1500	
Nordex Acciona (Südwind)	S46, S70, S	
Powerwind	PW56, P60	
Ropatec (Blue Terra) / Twister	WRE.030 /	
Senvion (Repower)	HSW1000, R	ore, 6M, 6.2M126
Siemens Gamesa (AN Bonus)	AN Bonus 4	G58, G80, G87, G90, G97, G128
Sinovel	SL3000	
Suzlon	S64, S82v2,	
Vensys	62, 112, 113	
Vestas	NM48, NM52, NM64c, NM72, NM82/V82, NM1000, Nordtank NT1500, V44, V47, V52, V66, V66 RCC, V66 VCS, V80, V82, V90 2 MW, V90 3MW, V100, V110-2, V112, V112 MK2C, V117, V126 MK2C	
Windmaster	WM750	
Zond	Z48, Z50	

9 MitarbeiterInnen
 24 Jahre Rotorunwuchtmessungen
 19 Jahre Blattwinkelmessungen
 21 Jahre Lastmessungen
 9 Jahre videobasierte Messungen

 2000+ WEA-Unwuchtmessungen
 150+ WEA-Typen
 25+ WEA-Hersteller
 1 kW bis 10+ MW Nennleistung

 BWE-Sachverständige

Häufigkeit von Rotorunwucht

Rotorunwucht-Statistik 2018:

Im Schnitt 8 von 10 WEA von Rotorunwucht betroffen

Methode :

Kombination von

- der Unwucht-Statistik 2013 für 240 verdachtslos geprüfte Serien-WEA: Massenunwucht und relative Blattwinkelfehler
- Blattwinkel-Statistik 2018 für 500 WEA-Rotoren (relative UND absolute Blattwinkelfehler)

Quelle 1: C. Heilmann, M. Melsheimer :

WID-FACHARTIKEL :

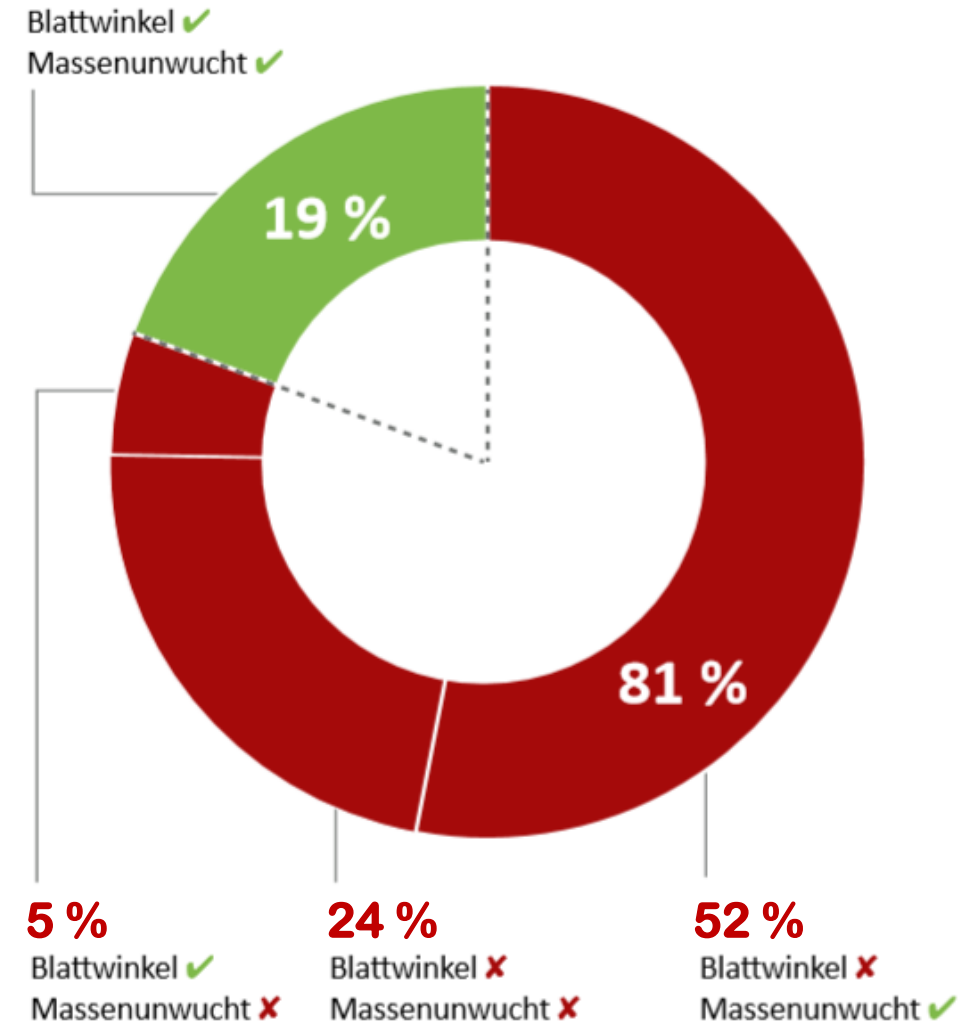
Auswuchten von WEA-Rotoren:

Wirtschaftliche Vorteile und technische Umsetzung, 2020/2022

<https://www.windindustrie-in-deutschland.de>

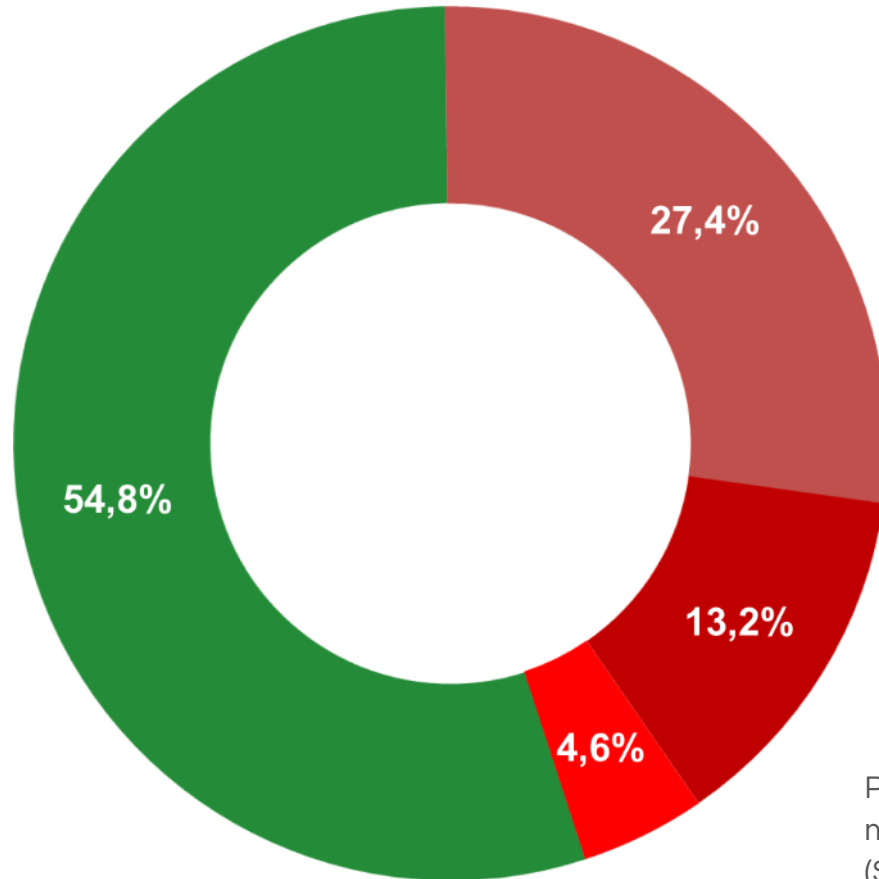
31. Windenergietage 2023, Potsdam, 9.11.2023, Forum 12

Der schlaue Asset-Manager wuchtet aus! Green Wind Engineering GmbH



Relative Blattwinkelfehler von 500 WEA-Rotoren

■ rel. BAD < 0.6° ■ >= 0.6... < 1.0° ■ >= 1.0... < 2.0° ■ >= 2.0°

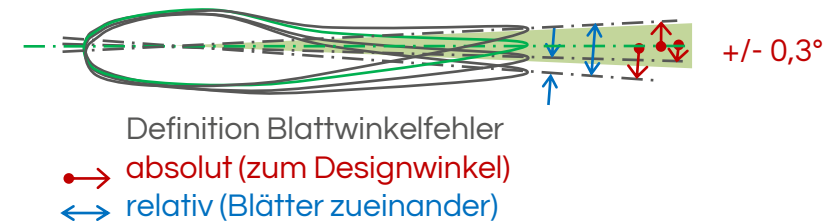


45% \geq Grenzwert 0,6°
für relative Blattwinkelfehler
(rel. BAD)

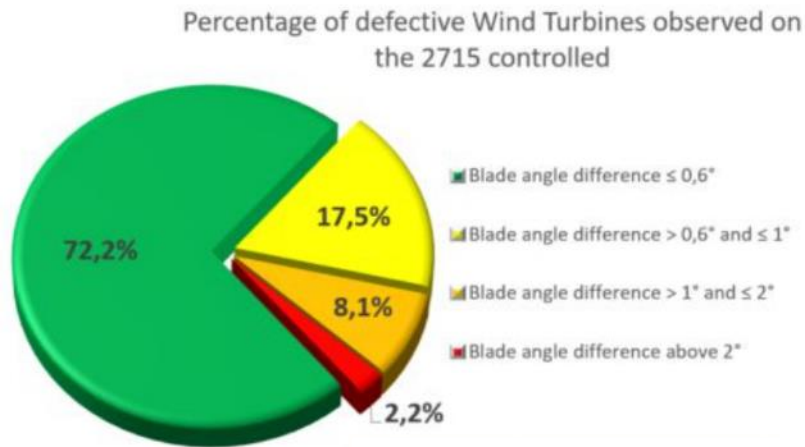
Mittelwert: 0,73°

Maximum 8,5°

Photometrische Messungen
mit und ohne Verdacht
(Statistik 2018, Grunwald, Heilmann, Melsheimer)



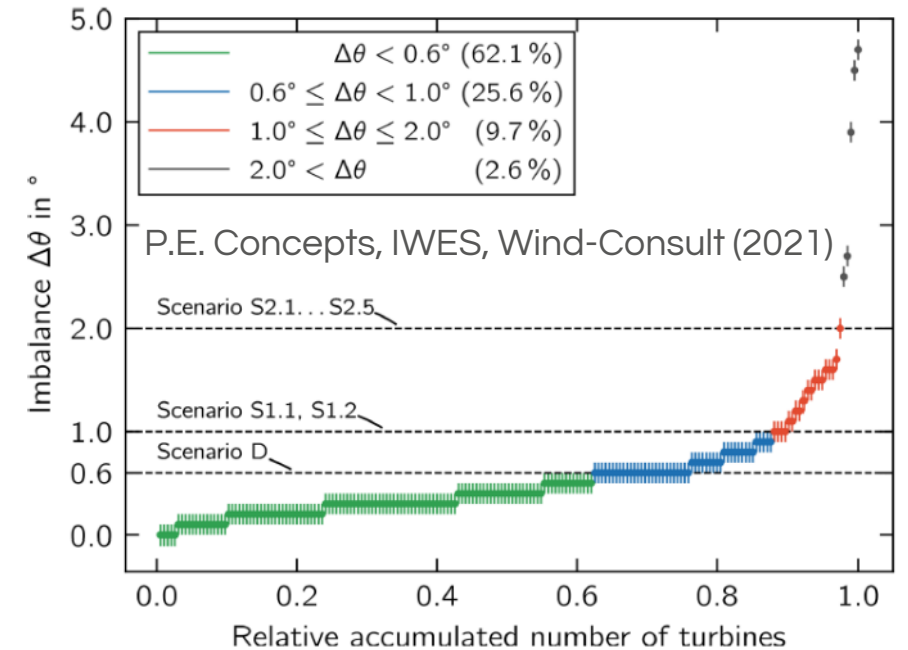
Große Häufigkeit von relativen Blattwinkelfehlern auch in Statistiken von Marktbegleitern



NB: $0,6^\circ$ blade angle difference is the design hypothesis taken from the GL 2010 guideline for the certification of wind turbines.

Quelle: www.alphawind.fr

28% > Grenzwert $0,6^\circ$



38% \geq Grenzwert $0,6^\circ$

Quelle: M. Saathoff et al.: Effect of individual blade pitch angle misalignment on the remaining useful life of wind turbines
 Wind Energ. Sci., 6, 1079–1087, 2021
<https://doi.org/10.5194/wes-6-1079-2021>

Häufigkeit von Rotorunwucht – Auswertung 2023

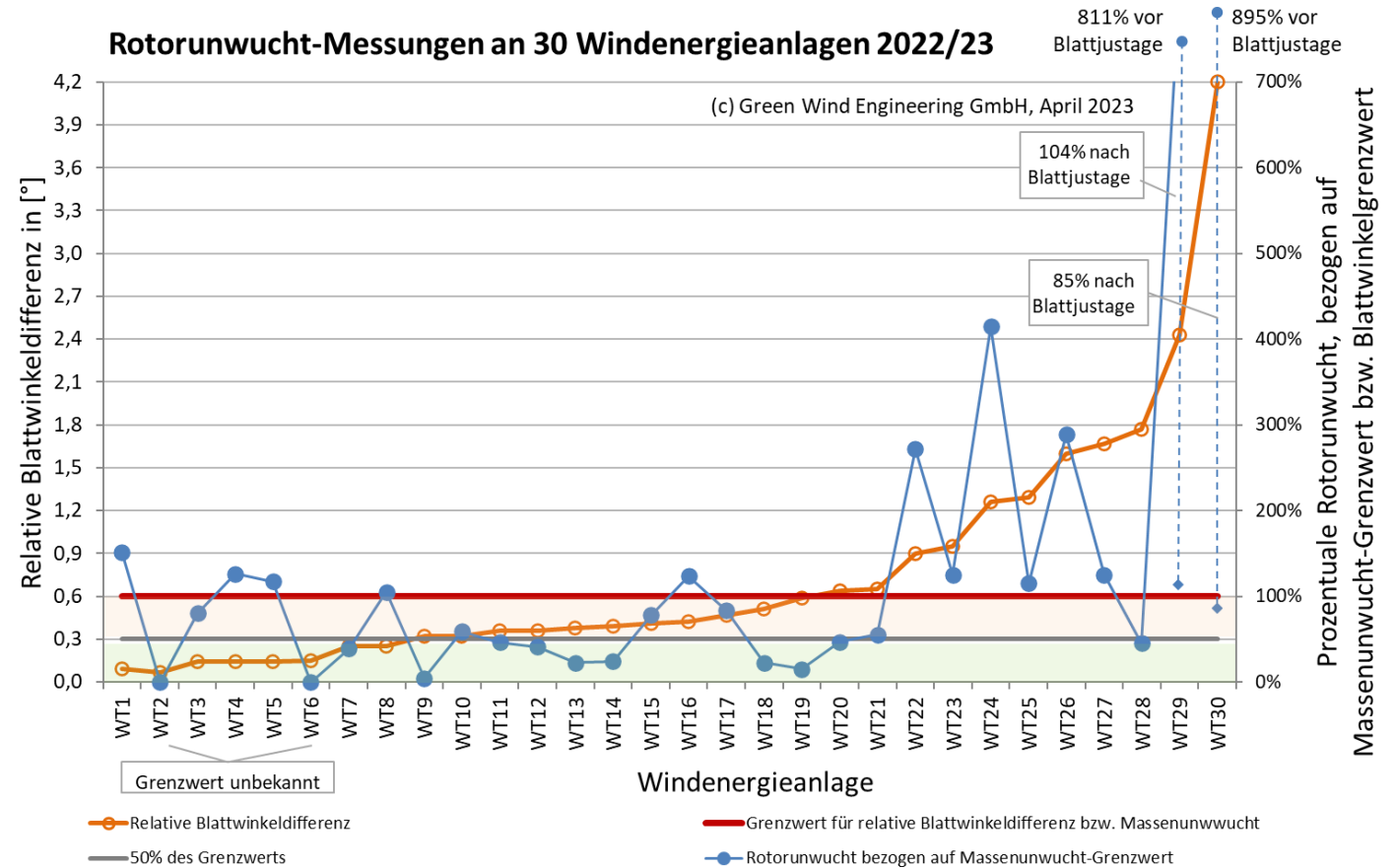
1 Messung mit Verdacht wegen häufigen Komponentenschäden

29 Messungen verdachtslos

- 37 % über dem Grenzwert 0,6° für relative Blattwinkelfehler
- 46% der vermessenen WEA unzulässig über dem Massenunwucht-Schwingungsgrenzwert
- 28% mit kombinierter Unwucht

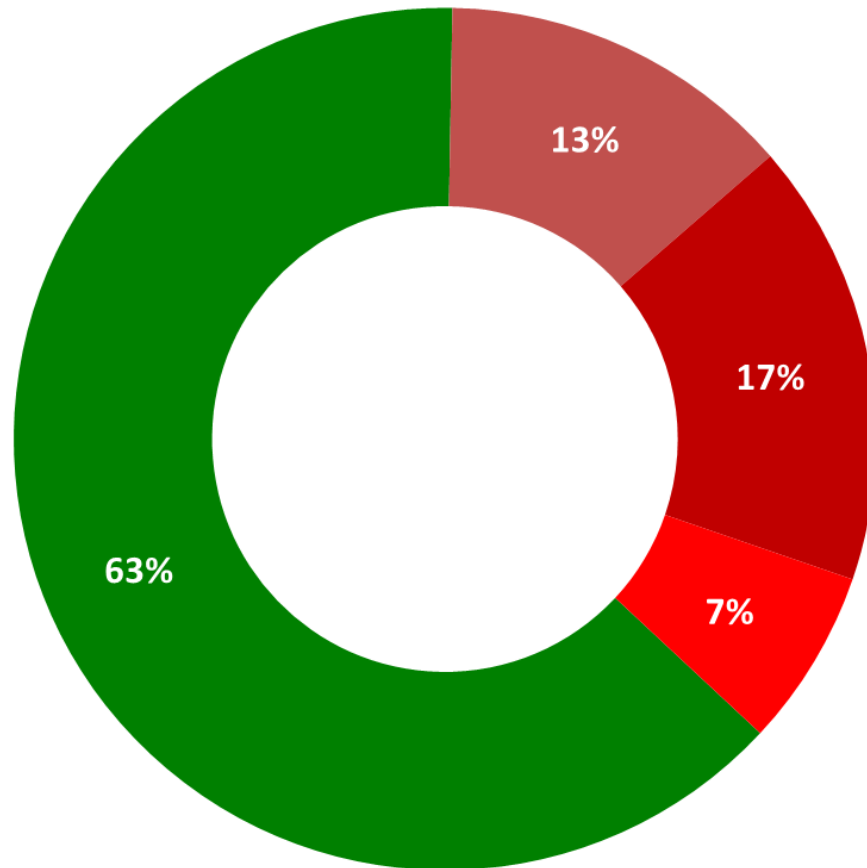
Hinweis:

Keine absoluten Blattwinkelfehler betrachtet.



Relative Blattwinkelfehler von 30 WEA-Rotoren 2022/23

Rel. BAD: ■ < 0,6° ■ ≥ 0,6° ... < 1,0° ■ ≥ 1,0° ... < 2,0° ■ ≥ 2,0°



37% ≥ Grenzwert 0,6°
für relative Blattwinkelfehler
(rel. BAD)

Mittelwert: 0,77°

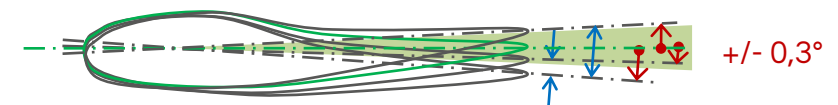
Maximum 4,2°

29 Messungen verdachtslos

1 Messung mit Verdacht wegen
häufigen Komponentenschäden

Hinweis:

Keine absoluten Blattwinkelfehler betrachtet.



Definition Blattwinkelfehler

→ absolut (zum Designwinkel)

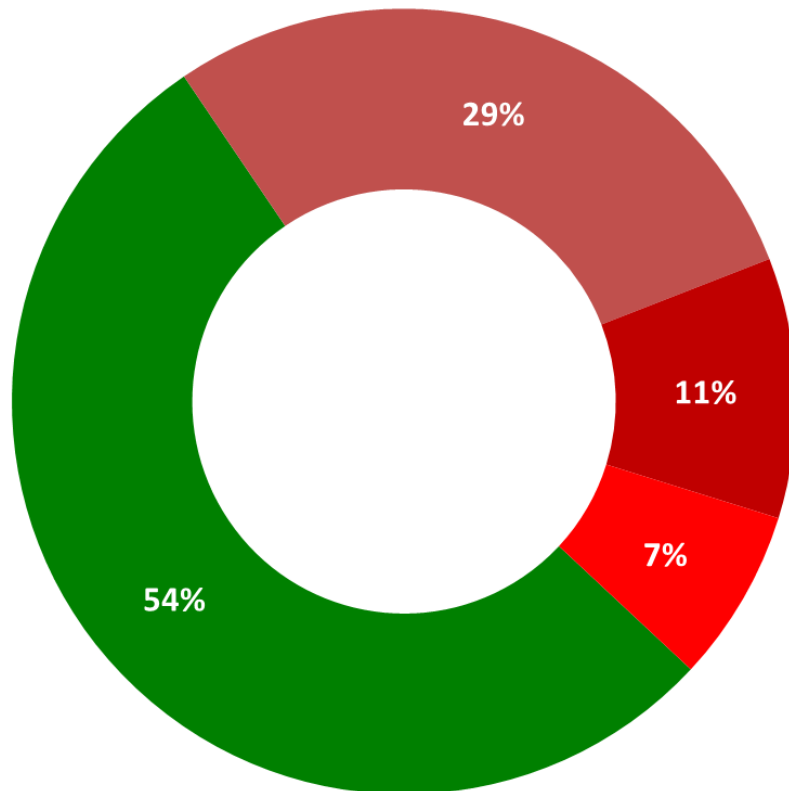
↔ relativ (Blätter zueinander)

Photometrische Messungen
mit und ohne Verdacht
(Statistik 2023, GWN)

Unwuchtniveau von 28 WEA-Rotoren 2022/23

Massenunwucht-Indikator vor Blattjustage, 30 WEA 2022-2023

■ unter MU-Grenzwert
 ■ zw. 100% und 200% des MU-Grenzwerts
 ■ über 200 bis 500%
 ■ über 500%



46% \geq Schwingungsgrenzwert

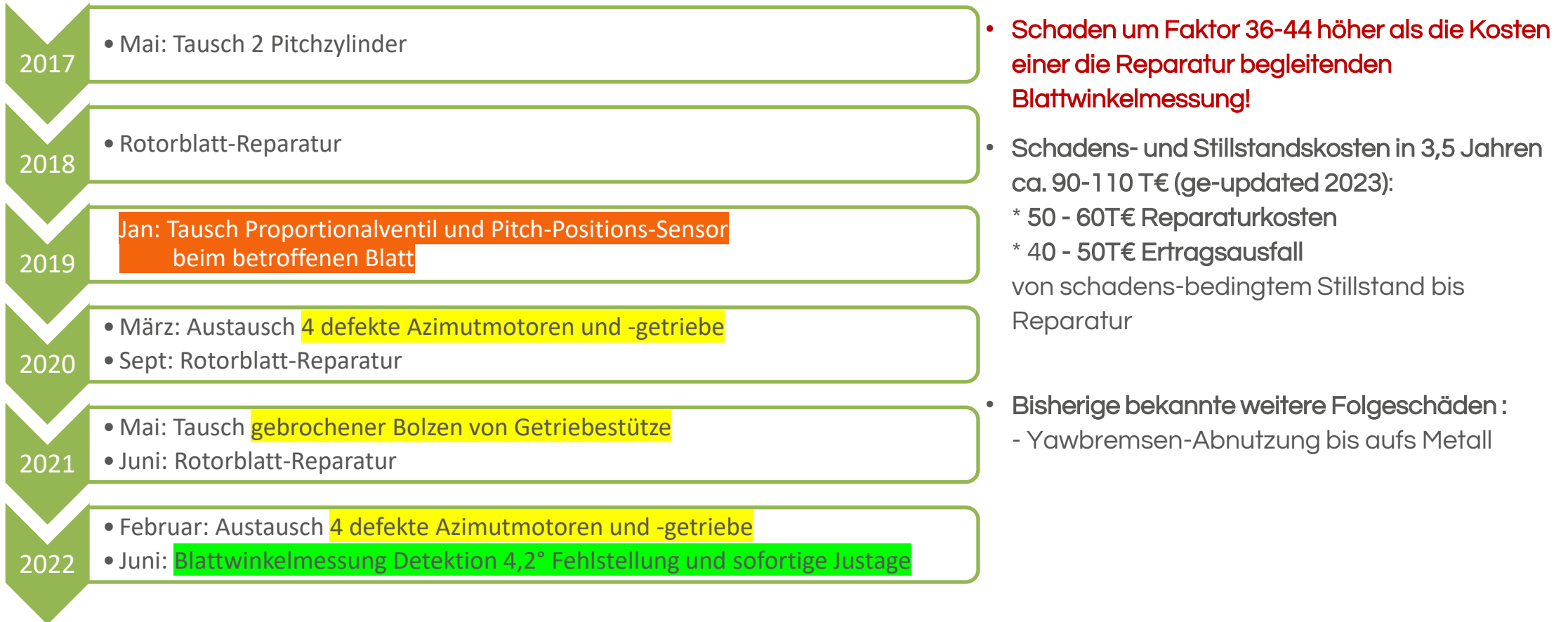
für Massenunwucht,
vor Blattjustage

Grenzwert abgeleitet aus
Massenunwuchtgrenzwert der jeweiligen
WEA-Typenprüfung

Schwingungsmessung in der Gondel
(Statistik 2023, GWN)

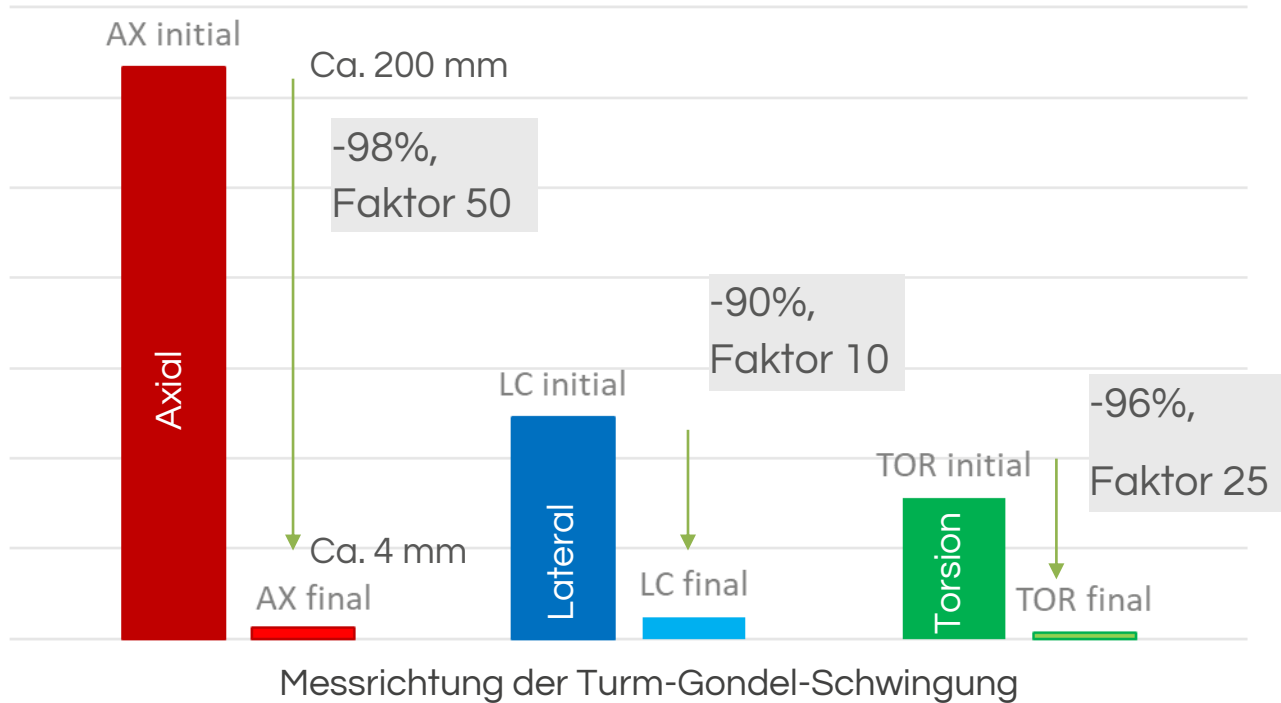
Beispiel: 4 Grad Blattwinkelfehler nach Pitchreparatur

Jahrelange Überlastung und hohe Folgekosten



Beispiel: 4 Grad Blattwinkelfehler – Drastische Schwingungsreduktion durch Blattjustage

Turm-Gondel-Schwingungsamplitude@Drehfrequenz



- Schon kurz über Einschaltwind sehr starke Zusatz-Erschütterungen aller Komponenten von Rotor, Gondel und Turmkopf
- 1. Tauschsatz Schneckentrieb -> Torsionskräfte auch in den Turm
- 2. Tauschsatz elektr. verspannte Antriebe, die je halber Rotorumdrehung durchrutschten wegen Überlast
- Nach Blattwinkeljustage trotz verschlissener Yawbremsen Schwingungen ok

Hinweis: Neue IEC 61400-28 zu Asset-Lebenszyklusmanagement und Weiterbetrieb von WEA

IEC TS 61400-28:2023 © IEC 2023

- 102 -

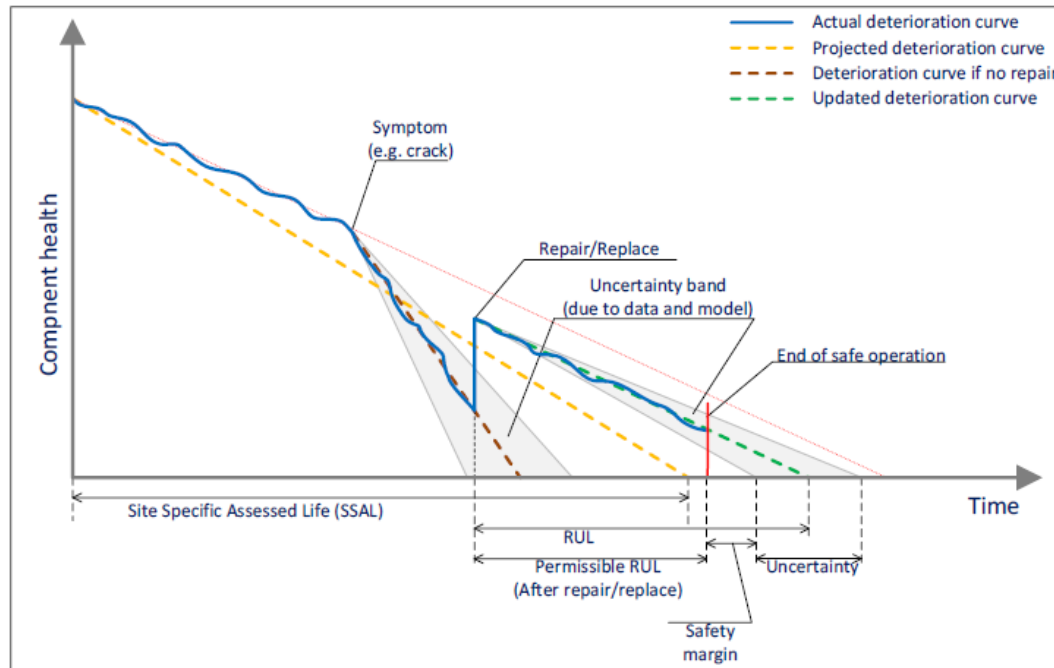
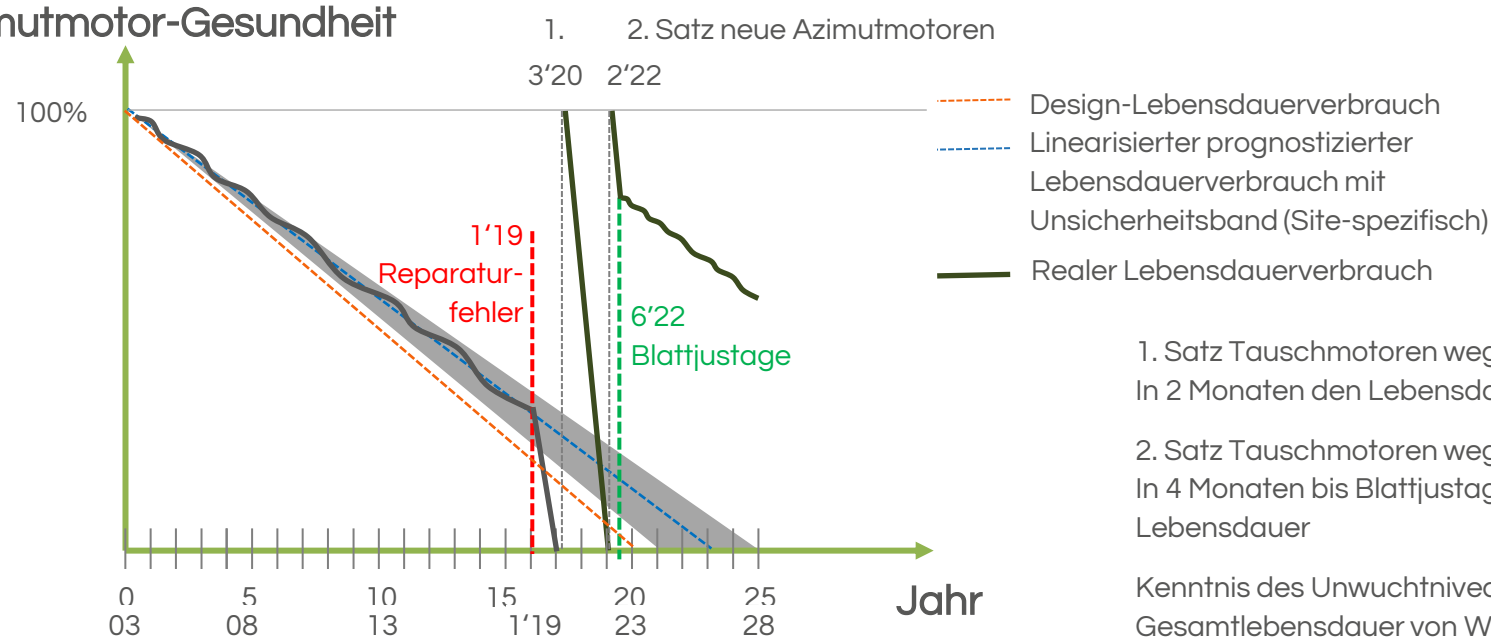


Figure 16: Single component with symptom

WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –
PART 28: THROUGH LIFE MANAGEMENT AND LIFE EXTENSION OF WIND POWER ASSETS

Lebensdauererfahrung ohne Ursachenbehebung des 4° Blattwinkelfehlers - Beispiel Azimutmotoren

Azimutmotor-Gesundheit



- 1. Satz Tauschmotoren wegen Blattwinkelfehler 4 Grad:
In 2 Monaten den Lebensdauererfahrung eines Jahres
- 2. Satz Tauschmotoren wegen Blattwinkelfehler 4 Grad :
In 4 Monaten bis Blattjustage Verbrauch von ca. 2-3 Jahren Lebensdauer

Kenntnis des Unwuchtniveaus notwendig, um Gesamtlebensdauer von WEA und Komponenten realistisch abzuschätzen und ein Unsicherheitsband realistisch zu legen

Beachte neuer Standard: IEC 61400-28:2023
WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS –
PART 28: THROUGH LIFE MANAGEMENT AND LIFE EXTENSION OF WIND POWER ASSETS

Hohe Folgekosten von Reparatur- und Justagefehlern vermeiden durch professionelle TBF und Zusammenarbeit

Laufende TBF

- Sorgfältige Lebenslaufakte und Sammeln der Betriebsdaten, einheitliches Vokabular
- Kritischer Umgang mit dem Service-Dienstleister und OEM, gute Personalschulung + Fortbildung, Software
- Probleme/Auffälligkeiten sowie ungewöhnliche Schadens-Einzelfälle erkennen und ernstnehmen
- Sich wiederholende Schadensmuster an derselben WEA (bzw. WEA-Typ) beachten
- Sorgfältiger Vergleich von Performance und Schäden im Windpark und Flotte
- Einbeziehung von Experten für professionelle Ursachensuche
- Anwendung von präzisen Messmethoden zur Ursachenbeseitigung
- Präventiv/Begleitend:
Qualitätskontrolle von Reparaturen/Justagen mit Schwingungsmessung/Foto-Messung als (v.a. am Rotor und Pitchsystem) und periodische Messungen

Realisierung von Kosteneffizienz-Steigerung der Dienstleistung Blattwinkelmessung der GWN

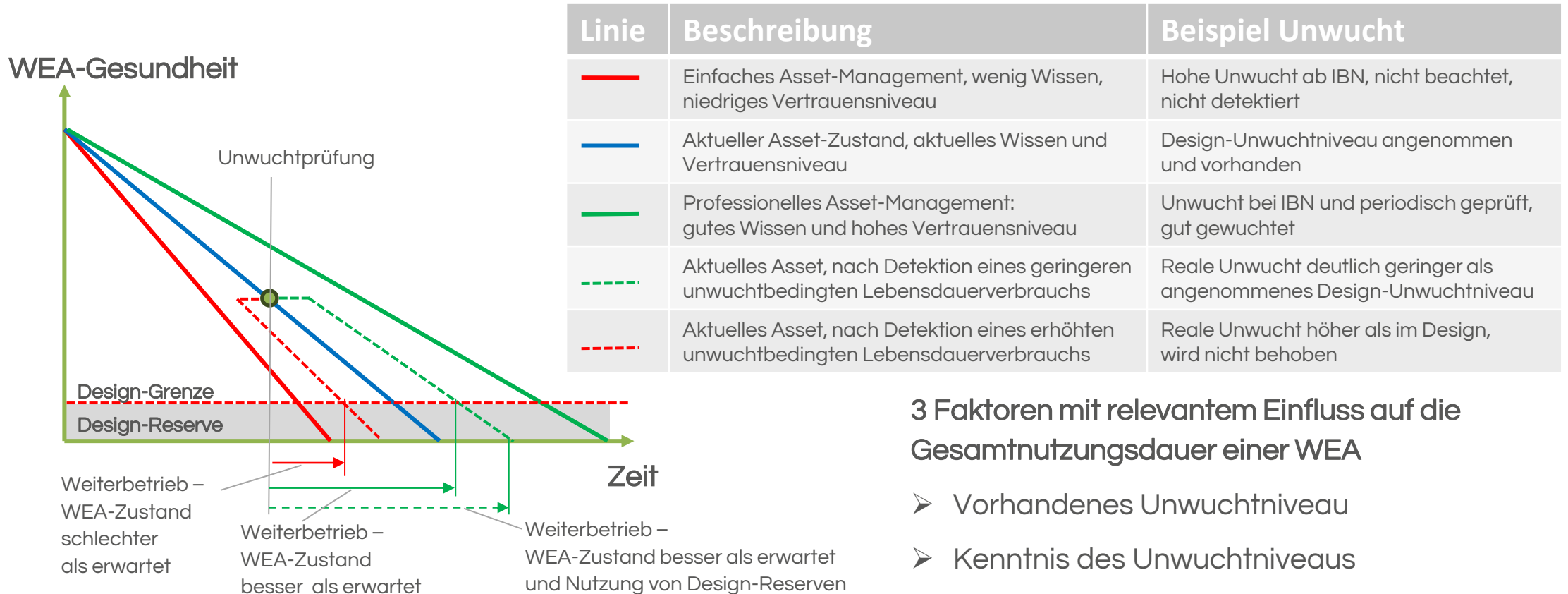
Fortbildung eigener Mitarbeiter für autarke Messungen (Unabhängigkeit und schnellere Reaktion)

- **Steuerung der WEA**, ohne externe Service-Techniker
+ Effizientere Umsetzung, da Zeitplanung und Kosten für externes Service-Team entfallen
- **Blattjustage** basierend auf der Blattwinkelmessung (nur bestimmte WEA-Typen)
+ Effizientere Umsetzung, da Zeitplanung mit Service-Firma entfällt
+ Qualitätsprüfung der Justage durch die schwingungstechnische Validierung

Technische Weiterentwicklung

- **Fernzugriff auf eigenes Messsystem** bei WEA-Typen die Dauermessungen benötigen, wenn Messungen im Normalbetrieb gefordert sind
+ Verringerung von Anfahrten zum Windpark, auch für andere beteiligte Firmen
+ Validierung von Anbringen/Entfernen der Testmassen durch laufende Messung
- **Eigene FuE:**
+ Videobasierte Schwingungsmessungen

Einfluss von Unwucht auf WEA-Gesamtnutzungsdauer

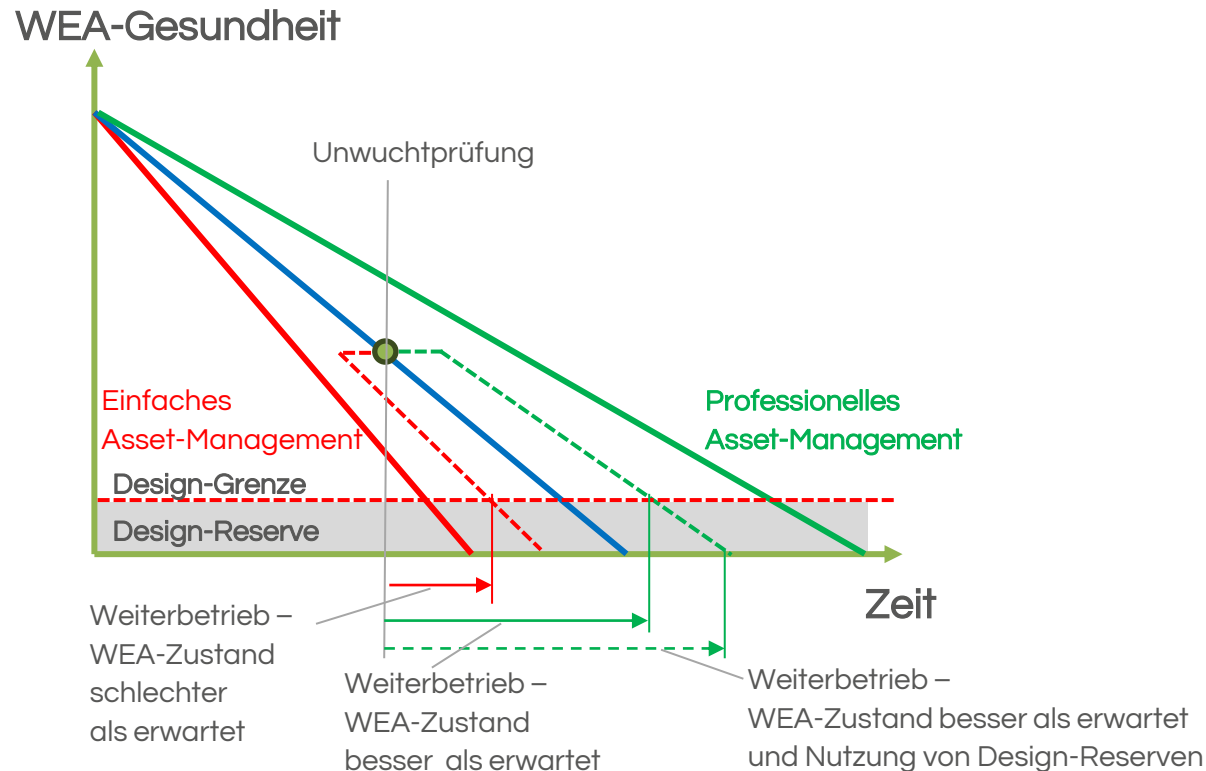


3 Faktoren mit relevantem Einfluss auf die Gesamtnutzungsdauer einer WEA

- Vorhandenes Unwuchtniveau
- Kenntnis des Unwuchtniveaus
- Reaktion auf erhöhte Unwucht

Grafik angelehnt an IEC_TS 61400-28:2023 (draft), Fig 4

Obacht geben – länger leben



- **Einfaches Asset-Management**
Nichts wissen und prüfen verringert Erträge, Wert und Gesamtnutzungsdauer, z.B. wegen hohen Unwuchten
- **Professionelles Asset-Management**
Wissen und Prüfen führt zu höheren Erträgen, weniger Ausfällen, längerer Gesamtnutzungsdauer
- **Betreiber: Anlagenverantwortung**
- **Gutachter: Haftung**
Weiterbetriebsdauer überschätzt, weil unbekannte Unwucht ?

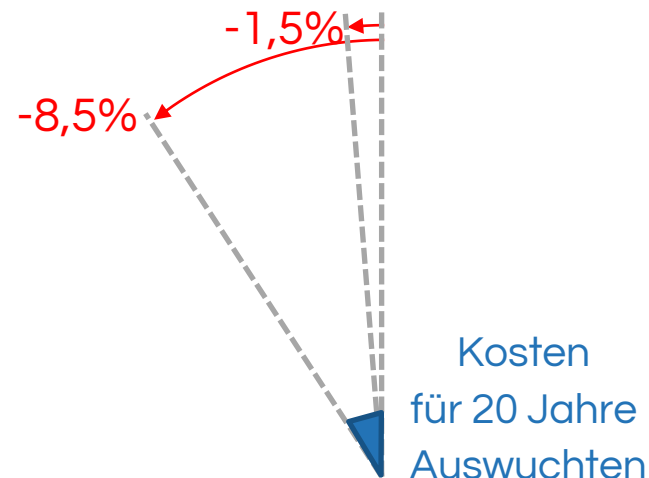
Grafik nach IEC_ TS 61400-28:2023 (draft), Fig 4

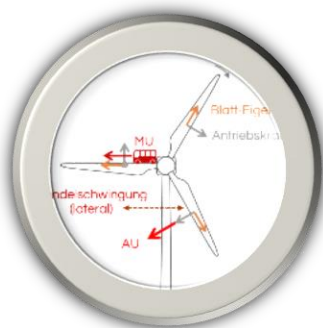
Strategie beeinflusst Wissenstand, Gesamtkosten und Lebensdauer

- **Meist üblich: Keine Blattwinkelmessungen**
Nicht-Wissen, Ignorieren der Thematik, kurzfristiges Kostendenken.
Wie Unsicherheiten der Gesamtlebensdauer angeben ohne Kenntnis der Blattwinkel?
- **Besser: Periodische Messungen**
Periodische Blattwinkelmessungen u/o. Unwucht-Schwingungsmessungen
Kenntnis zum Zeitpunkt der Messung
- **Best Practice: Periodische Messungen + Qualitätskontrolle**
Periodische Blattwinkelmessung u/o Unwucht-Schwingungsprüfung
plus zusätzliche Qualitätskontrolle per Schwingungsmessung bei relevanten Arbeiten, z.B. am Pitchsystem
Kenntnis zum Zeitpunkt der Reparatur

Verluste vermeiden durch Auswuchten

- Unwucht-bedingte Verluste um Faktor 6 bis 40 höher als Auswuchtkosten einer sorgfältigen periodischen Unwuchtmessung
- Geeignete, präzise Messverfahren verwenden
- Absolute UND relative Blattwinkel messen
- Massenunwucht messen
- Lebenslanges Auswuchten
- Verschleiß und Schäden reduzieren durch niedrigere Lasten
- Ertrag sichern
- Weiterbetriebspotenzial erhalten





„Obacht
geben –
länger leben“



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 Innovation GmbH & Co. KG

Projektentwicklung neuartiger EE-Anlagen unter Berücksichtigung aktueller Rahmenbedingungen und Zukunftstechnologien

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