

"Bad Vibrations" – Erhöhter Lebensdauerverbrauch von WEA durch Rotorunwucht

21. Windenergietage, 13.-15.11.2012
Forum 4 Technik und Innovationen

Anke Grunwald

BerlinWind GmbH

Bundesallee 67, 12161 Berlin
Germany

Tel.: +49 30 688 3337 40

Email: info@berlinwind.com

Internet: <http://www.berlinwind.com>

2009 gegründetes, unabhängiges Ingenieurbüro,
Teil der Holding *Corporate Energies Group*

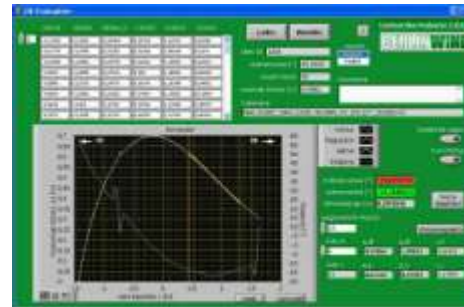
langjährige Windenergie-Erfahrung mit mehr als 1000
vermessenen WEA von mehr als 20 verschiedenen Herstellern

Dienstleistungen

- Auswuchten von WEA-Rotor und Triebstrang
- Blattwinkelmessungen
- Messung von Schwingungen und Lasten
- Technisches Consulting & Fehlerursachenanalyse

Umfangreiche F&E (eigene Messverfahren und –systeme)

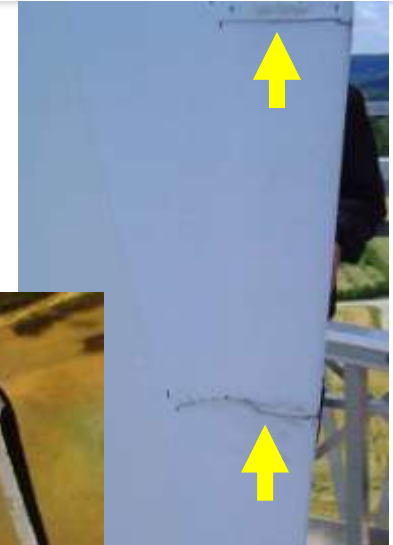
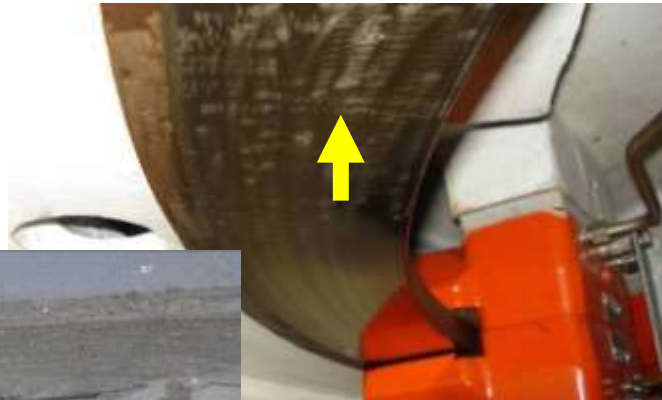
Mitarbeit in Fachgremien (u.a. BWE-Sachverständigenrat und
AK VDI-3834)



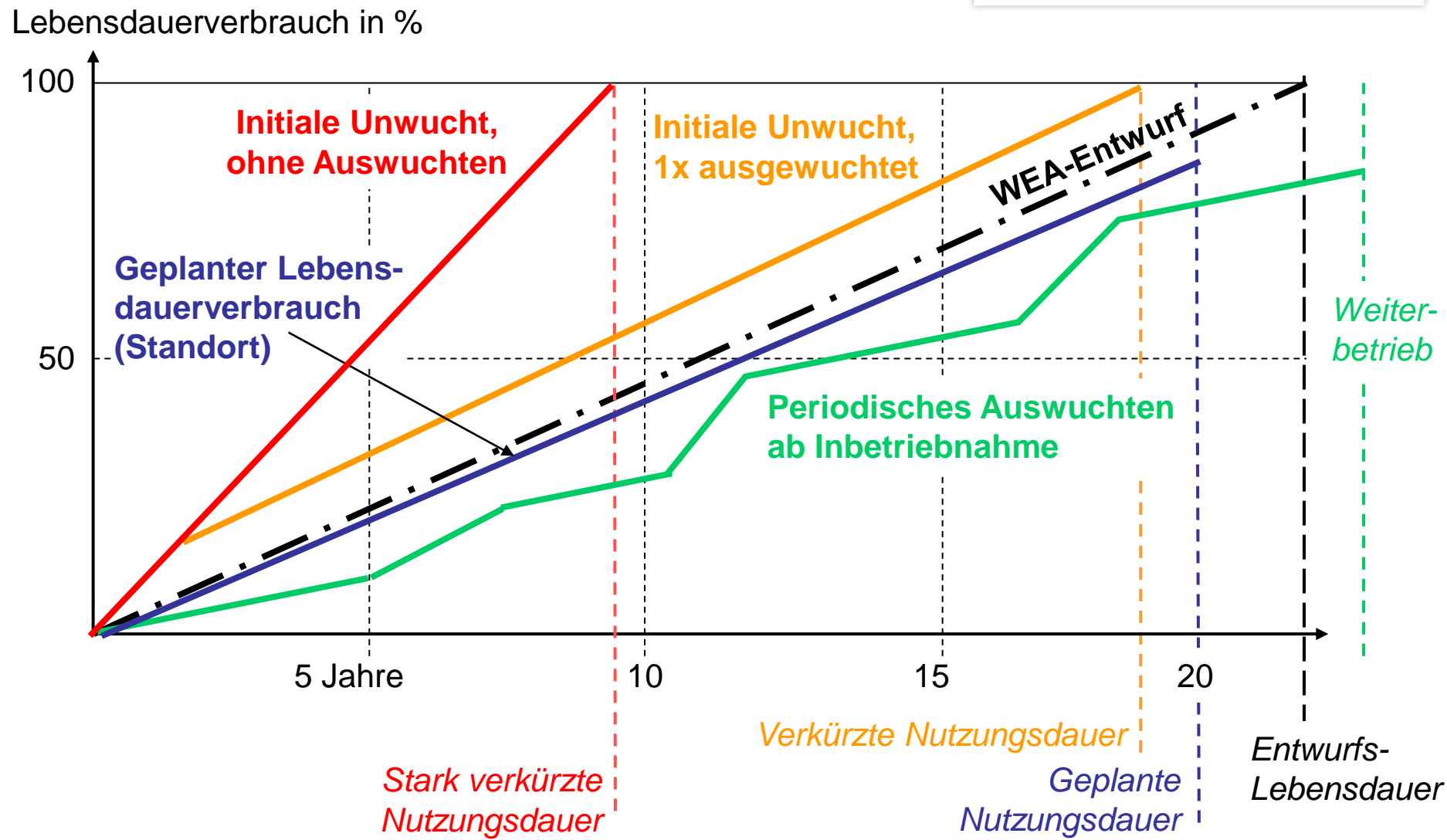
- Motivation und Thesen
- Verschiedene Arten der Rotorunwucht (RU)
- Auswirkungen der RU auf die Betriebslasten / Lebensdauer

WEA-Unwucht tritt häufig auf & verursacht viele Schäden

- WEA-Rotorunwucht bei 25% aller WEA über Grenzwert
- Aerodynamische und Massenunwucht gleich relevant
- Vielfältige Schäden, „am schwächsten Glied der Kette“



Unwucht erhöht Lebensdauererbrauch



- **Entwurfs-relevante zyklische Ermüdungslasten durch Rotorunwucht:**
Gesamte WEA-Betriebslastenrechnung für 20 Jahre mit Grenzwerten für Massenunwucht und aerodynamische Unwucht (IEC 61400-1, GL, DIBt)
- Reale Unwucht an der laufenden WEA ist meist unbekannt
- Rotorunwuchtmessungen an über 700 Onshore-WEA:
Grenzwert überschreitende Rotorunwucht (RU) bei über 25% der WEA
- **Rotorunwucht erhöht Lastniveau und beschleunigt Ermüdung** aller Komponenten, so dass vorzeitig kapitale Komponentenschäden auftreten können
- **Schäden durch Rotorunwucht sind vermeidbar** durch regelmäßige Unwuchtprüfung ab der Inbetriebnahme
- **Rotor-Auswuchten vermeidet erhöhten Lebensdauerverbrauch**

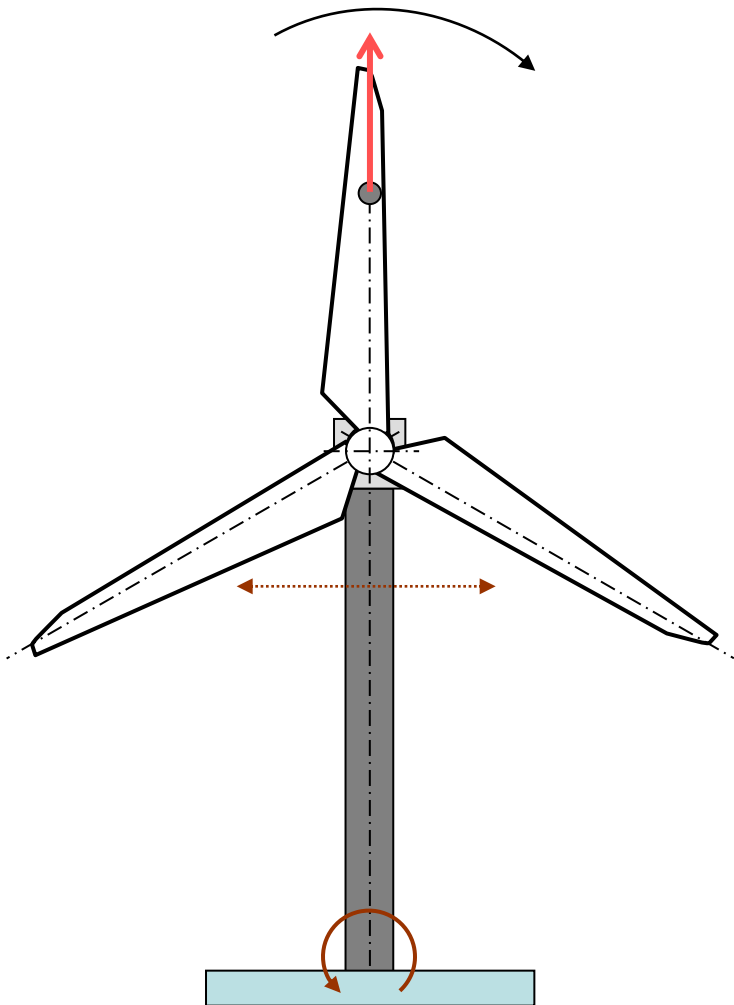
Rotorunwucht - Grundlagen

BERLINWIND

- Zwei **Rotorunwucht-Arten** mit unterschiedlichen physikalischen Ursachen:
 - **Massenunwucht (MU)**: Schädliche Fliehkraft durch ungleiche Massen, bzw. -verteilung im Rotor
 - **Aerodynamische Unwucht (AU)**: Schädliche Schubkraft- und Umfangskraft-Differenzen durch abweichende aerodynamische Eigenschaften der Blätter, z.B. Blattwinkeldifferenzen
- **Vektorielle Addition** der Kräfte aus MU und AU
- Meist Integrale Rotorunwucht (RU) **vorhanden**, d.h. **Kombination von AU und MU**
- Für **nachhaltiges Auswuchten** korrekte Prozedur mit Identifikation der Unwuchtarten und –ursachen notwendig



WEA mit AU und MU:
Verschiedene Massen und –
verteilung sowie unter-
schiedliche Aerodynamik



Zyklische laterale Turm-Gondelschwingungen

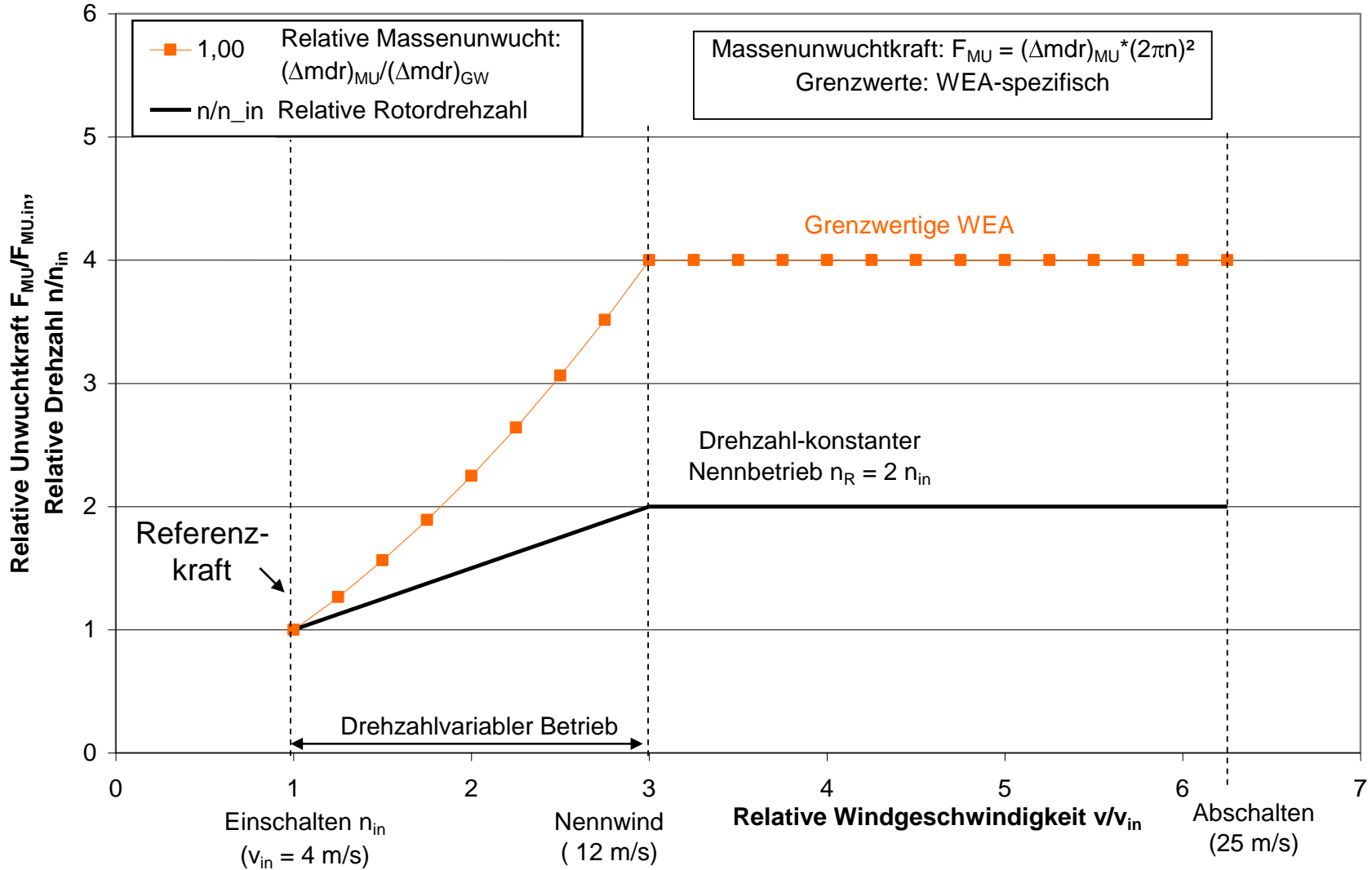
- Zusätzliche Zugbelastung in Blattwurzel
- Zyklische Belastung von Hauptlager und Getriebeabstützung (durch umlaufende Kräfte)
- Fußpunkterregung aller Gondelkomponenten
- Zusätzliche zyklische laterale Turmbiegung (da Nabenhöhe als Hebelarm bis zum Fundament)

Relatives Lastkollektiv aus MU -0 Szenario

- Anwendung von WEA-Auslegungskriterien
- Drehzahlvariable WEA mit $n_R = 2 * n_{in}$; Resonanz vernachlässigt
- Referenzfall: Grenzwertige Massenunwucht
- Referenzkraft $F_{in}(n_{in}) = 1,0$ aus Referenzfall bei Einschaldrehzahl
- Relative Lastkurve $F(n)$, bezogen auf Referenzkraft
- Multiplikation der Lastkurve mit Windhäufigkeitsverteilung ergibt auftretende Lastwechselzahl n_i je Amplitudenklasse i
- MU-Schädigungsanteil je Amplitudenklasse $D_i = n_i / N_i$ als Quotient aus auftretender und ertragbarer Lastwechselzahl in 20 Jahren

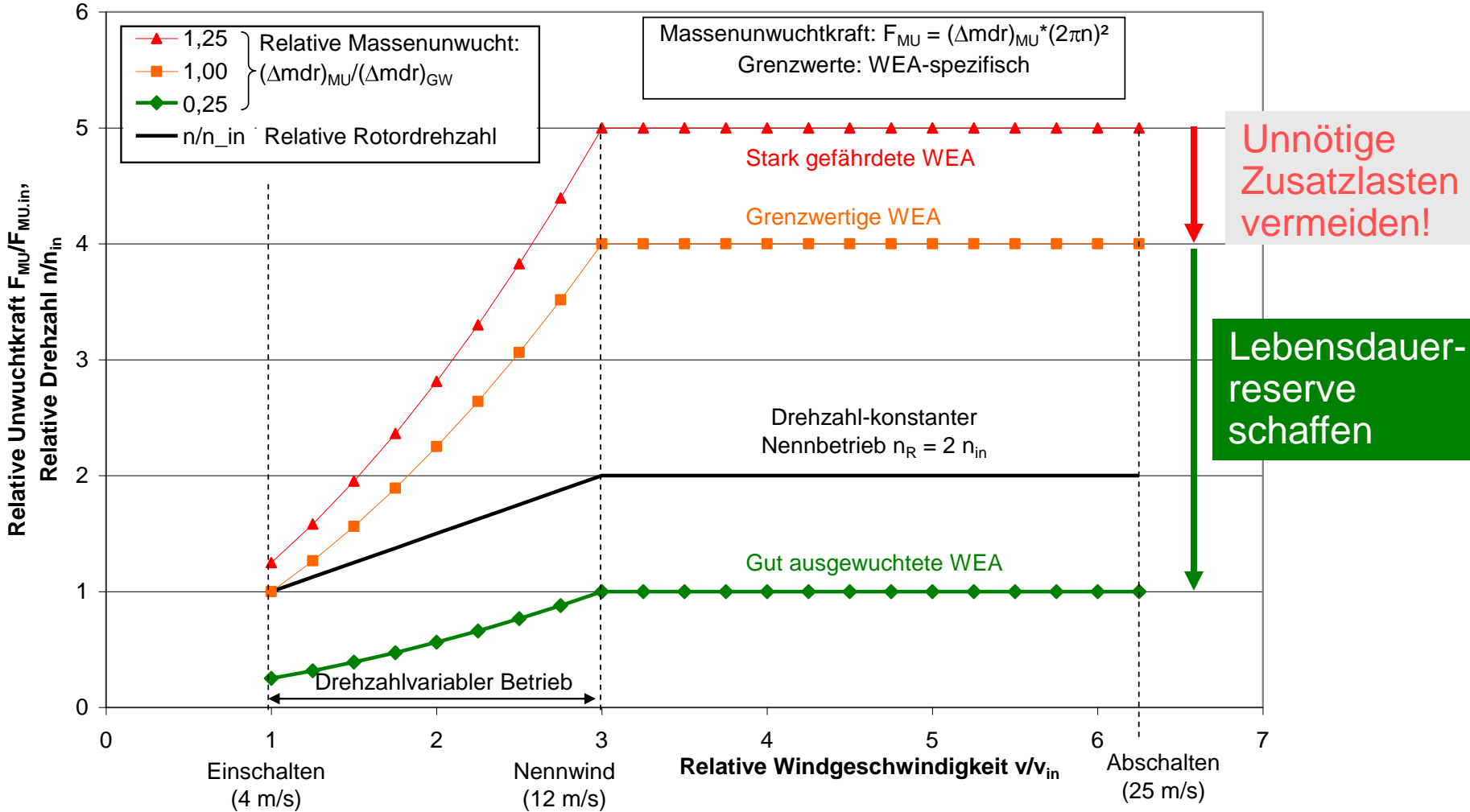
Relatives Lastkollektiv aus MU -1

Grenzwertige, drehzahlvariable WEA

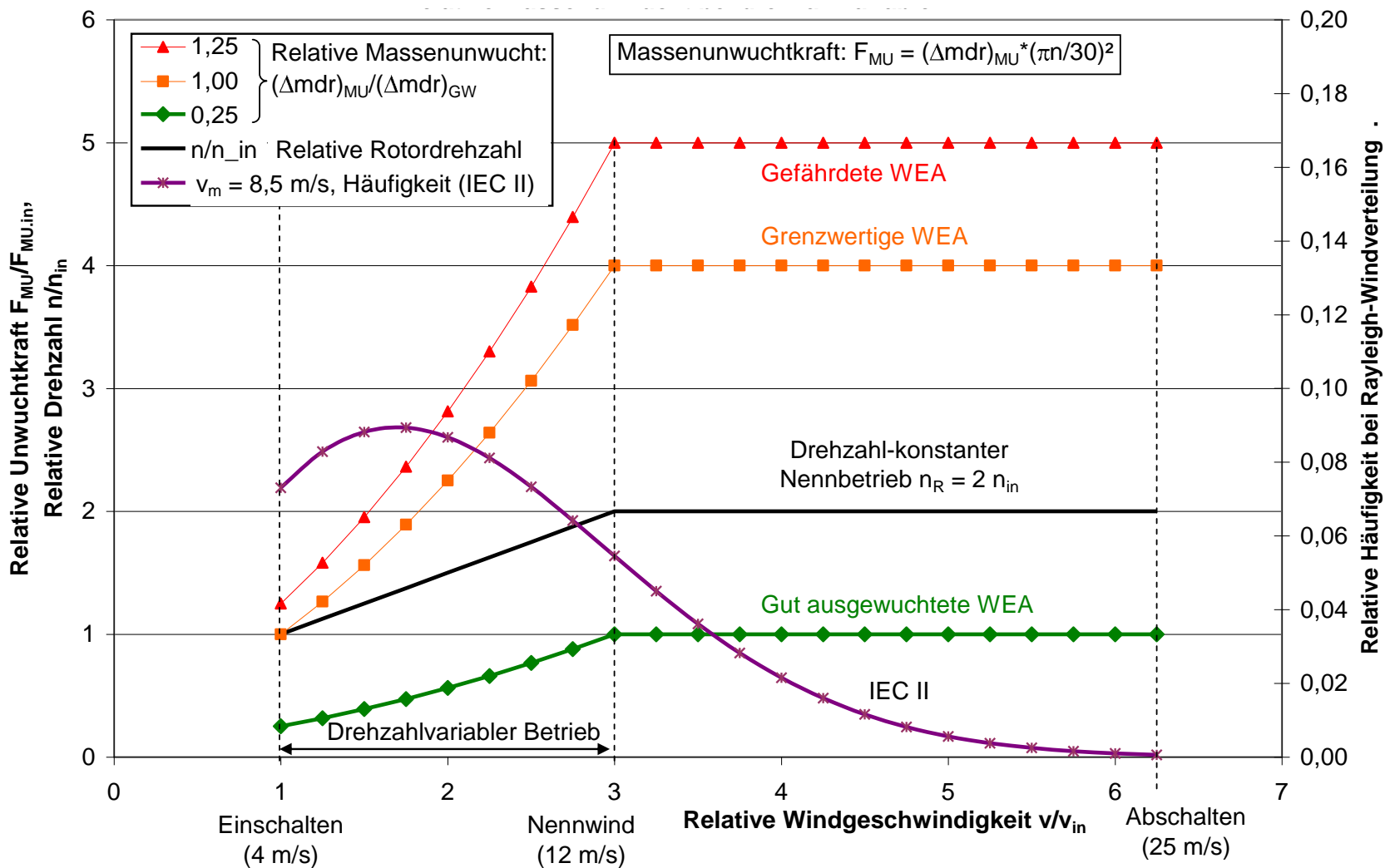


Relatives Lastkollektiv aus MU-2

WEA mit und ohne MU

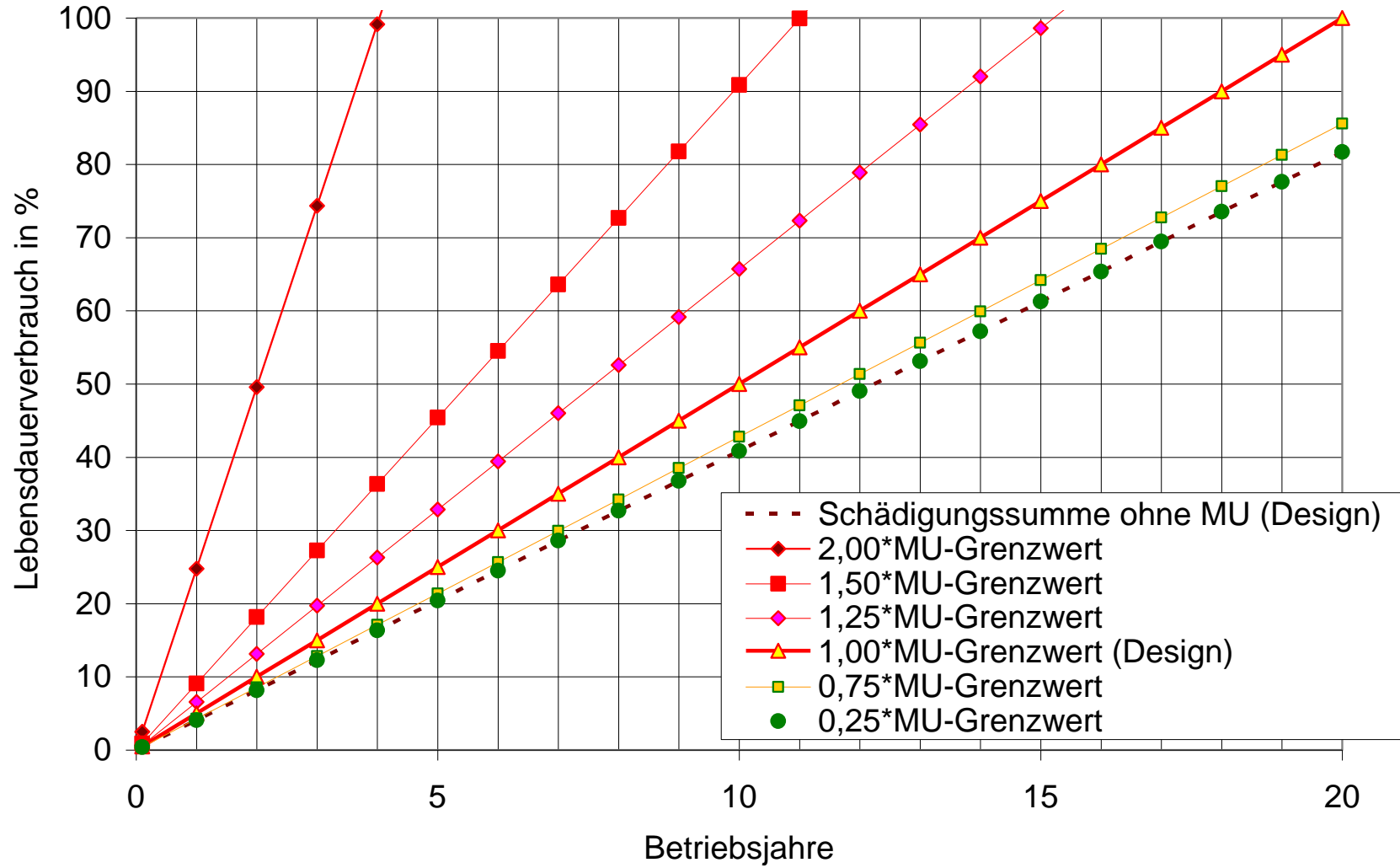


Relatives Lastkollektiv aus MU -3 WEA mit und ohne MU und Windverteilung



Klassiertes Lastkollektiv aus MU -5

Lebensdauererbrauch durch MU



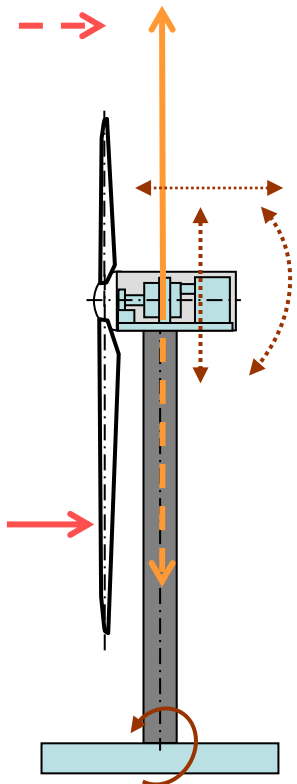
■ Stark steigender Lebensdauererbrauch bei MU über Grenzwert

Relatives Lastkollektiv aus MU -6

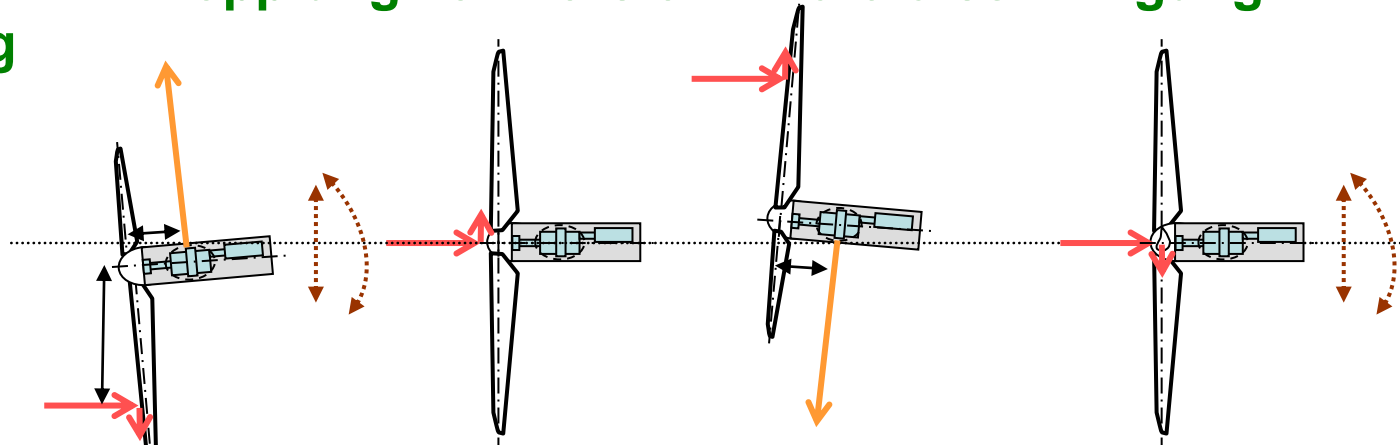
Zusammenfassung

- höchste Kräfte aus Massenunwucht bei Nenndrehzahl d.h. auch höchste Materialbeanspruchung
($F \sim n^2$, wenn Resonanz vernachlässigt, drehzahlvariabler WEA-Betrieb),
- höchste Lastwechselzahlen bei Maximalamplitude
(durch Windhäufigkeitsverteilung und höchste Drehzahl)
- Überschreitung des Massenunwucht-Grenzwerts führt zu starker Zunahme des Lebensdauer verbrauchs, so dass vorzeitig kapitale Komponentenschäden auftreten können
- Auswuchten auf 25% des Massenunwucht-Grenzwerts schafft hohe Lastwechsel-Reserve

Kopplung von Axialschwingung & Nicken



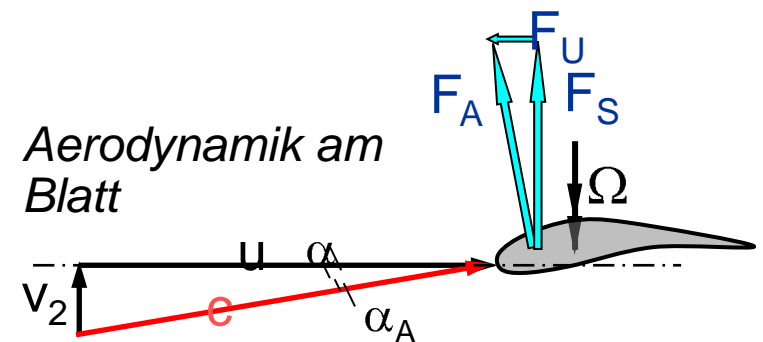
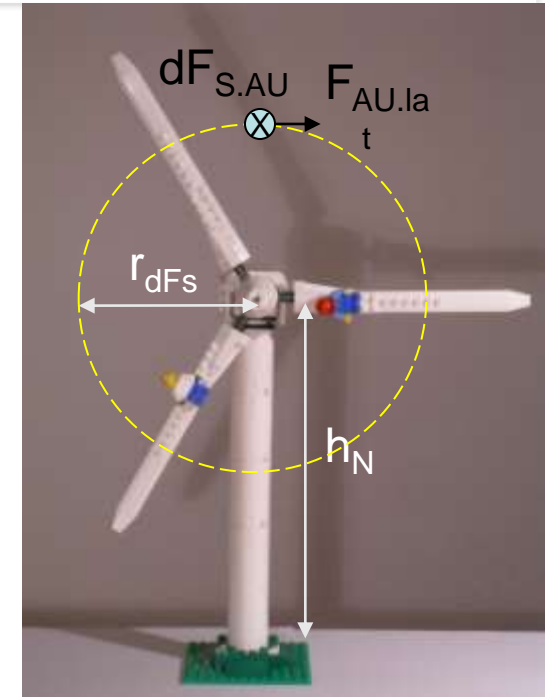
Kopplung von Torsion + Lateralschwingung



- Langer Hebelarm der AU-Kraft (ca. $2/3 \cdot R$)
- Hohe zyklische Belastung von Hauptlager und Getriebeabstützung
- Zyklische Fußpunkt-Erregung für alle Triebstrangkomponenten
- 3D-Orbit
- zusätzliche zyklische Torsion und Biegung an Turmkopfflansch und im Turmfuß

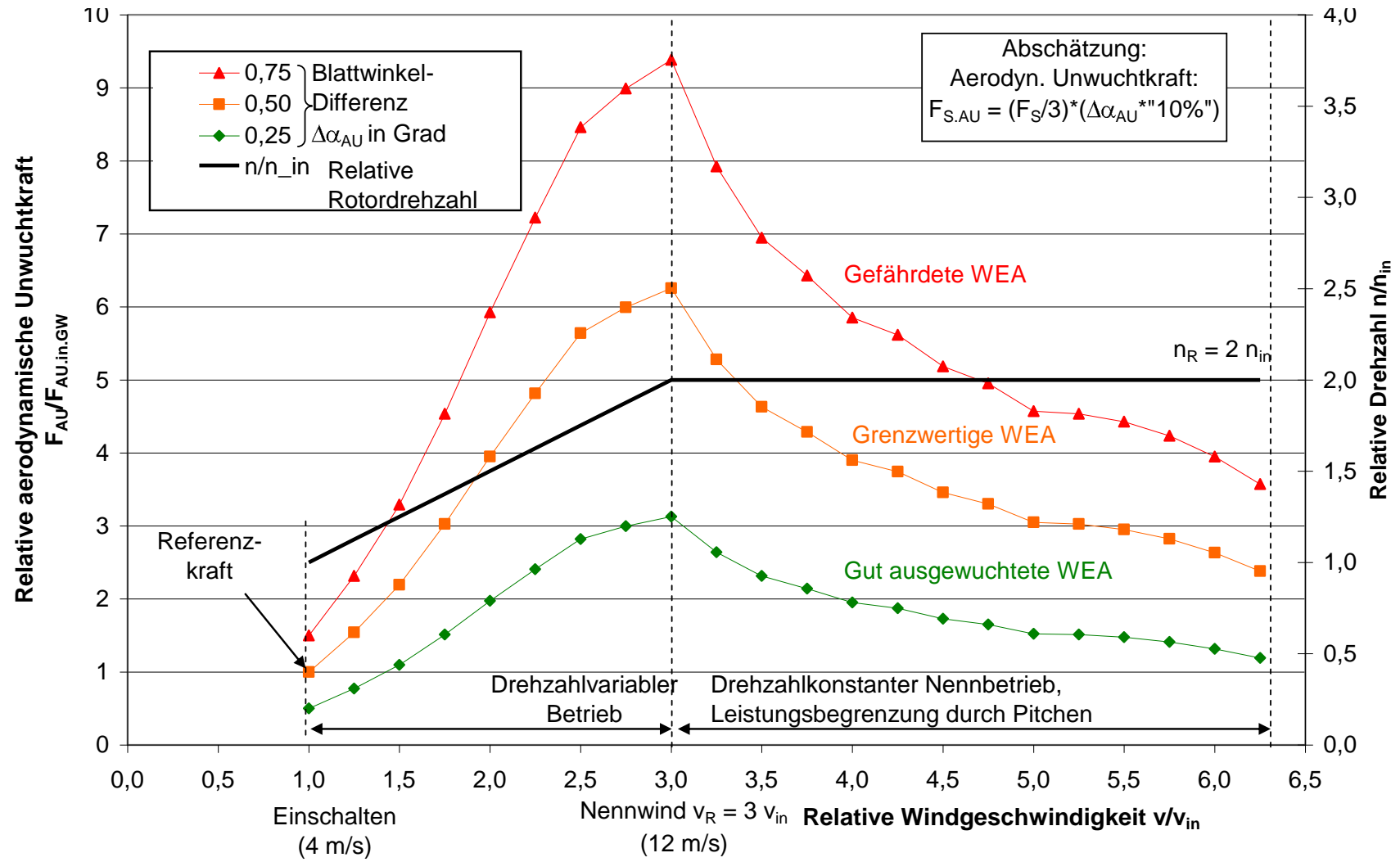
Relatives Lastkollektiv aus AU-0 Szenario

- Gleiches Szenario wie bei Massenunwucht
- Unwucht aus Blattwinkeldifferenz $\Delta\alpha$ (Bewirkt Schubkraft- und Umfangskraft-Differenzen ΔF_S und ΔF_U)
- Vereinfachung bei Berechnung der Kraft aus Aerounwucht:
 - Vernachlässigung von ΔF_U
 - Kein Blattwinkelfehler: Quasi-konstanter Schub
 - $dF_{S.AU} = (F_S/3) * (\Delta\alpha_{AU} * 10\%)$



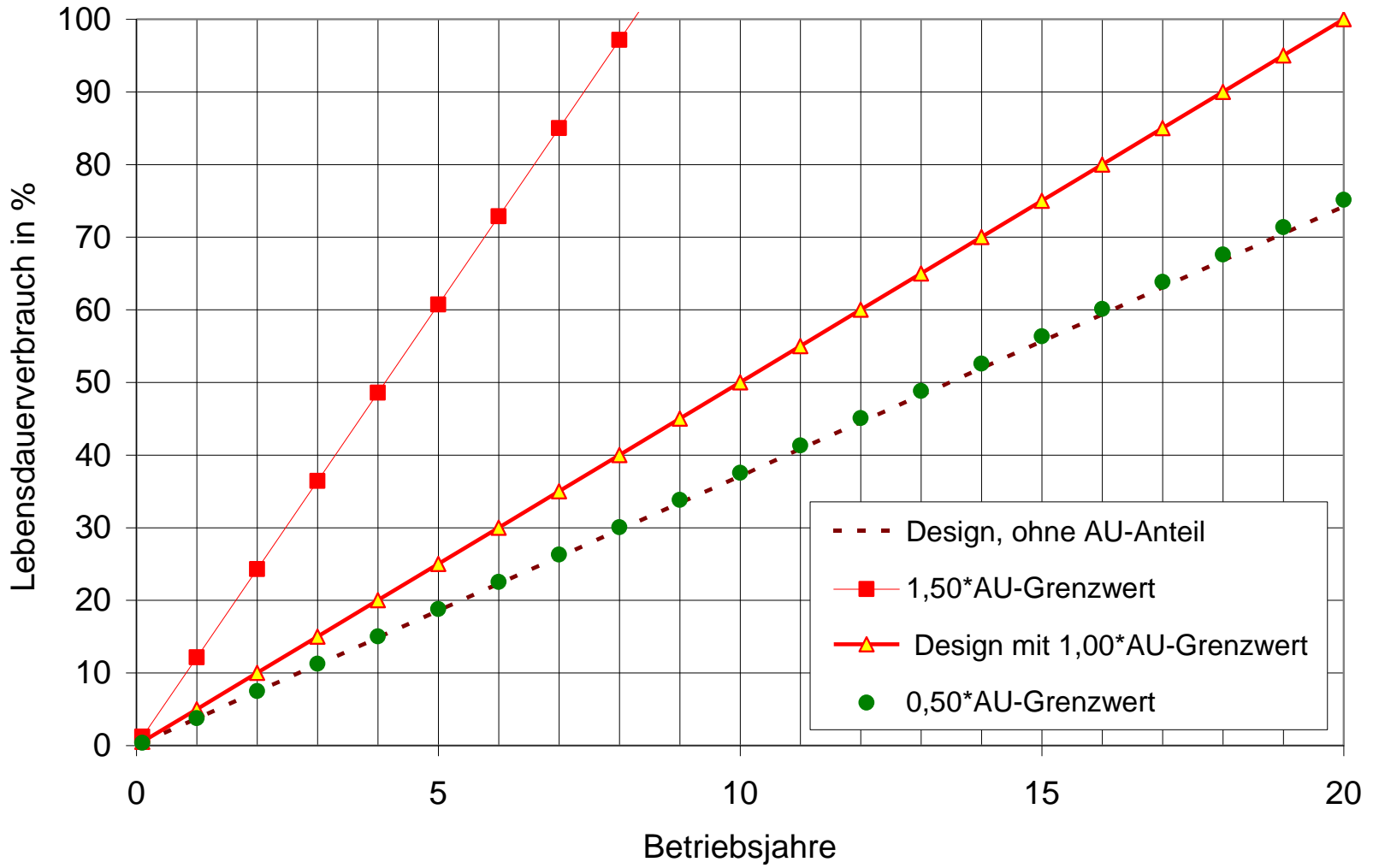
Relatives Lastkollektiv aus AU -1

Drehzahlvariable WEA mit und ohne AU



Klassiertes Lastkollektiv aus AU -4

Lebensdauererbrauch durch AU



■ Stark steigender Lebensdauererbrauch bei AU über Grenzwert

Zusammenfassung

- Entwurfs-relevante zyklische Ermüdungslasten durch Rotorunwucht
- Grenzwerte für Rotorunwucht
- Beide Unwucharten, MU und AU, erzeugen relevante Kräfte
- WEA-Betrieb mit unwuchtigem Rotor führt zu starker Zunahme des Lebensdauer-
verbrauchs, so dass vorzeitig kapitale
Komponentenschäden auftreten können
- Rotorunwucht sollte regelmäßig geprüft
werden
- Auswuchten auf 25% des Unwucht-
Grenzwerts
bzw. sehr genaue Einstellung der
Blattwinkel schafft Lastwechsel-Reserven

**Periodisches Rotor-Auswuchten vermeidet
erhöhten WEA-Lebensdauer-
verbrauch!**





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

BerlinWind GmbH

Bundesallee 67, 12161 Berlin,
Germany

Tel.: +49 30 688 3337 40

Email: info@berlinwind.com

Internet: <http://www.berlinwind.com>