

Allianz Risk Consulting GmbH
- Allianz Zentrum für Technik -

BRAUCHEN WINDTURBINEN SCHWINGUNGSÜBERWACHUNG UND CONDITION MONITORING?

Thomas Gellermann,
13.02.2020 München

VDI Webinar

CONTENT TOPICS

01

**AZT-VORSTELLUNG &
EINFÜHRUNG**

02

**BELASTUNGSDYNAMIK,
LEBENSDAUER &
INSTANDHALTUNG**

03

**ZUSTANDSBEURTEILUNG VS.
SCHWINGUNGSBEURTEILUNG**

04

**FALLBEISPIEL
TURMSCHWINGUNGEN**

05

**SCHWINGUNGSBEURTEILUNG
GEMÄß VDI 3834**

06

**ÜBERWACHUNG GROßER
ANLAGENPOPULATIONEN**

07

ZUSAMMENFASSUNG

01

ALLIANZ ZENTRUM FÜR TECHNIK EINFÜHRUNG



- Allianz Zentrum für Technik
- Erfahrungsbasis Windenergie



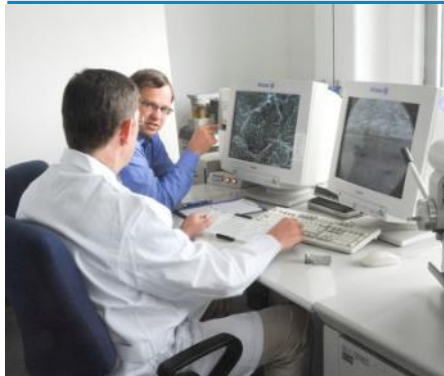
www.azt.allianz.com

“LESSONS LEARNED SINCE MORE THAN 85 YEARS”

Allianz Risk Consulting GmbH – Allianz Zentrum für Technik



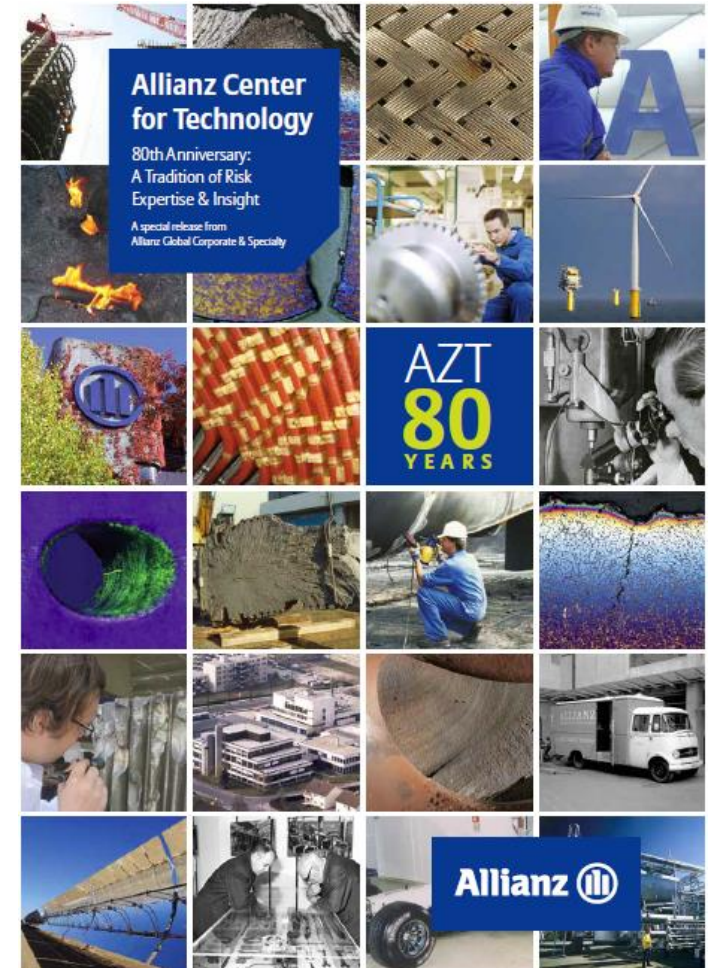
1932 in Berlin als “**Materialprüfanstalt**” der Allianz Versicherung gegründet



Seit 1969 in München
Allianz Zentrum für Technik

- Firmierend als Allianz Risk Consulting GmbH
- 2007 integriert in AGCS

AZT Jubiläumsbroschüre Download: www.azt.allianz.com



AZT AKTIVITÄTEN IM BEREICH WIND ENERGIE

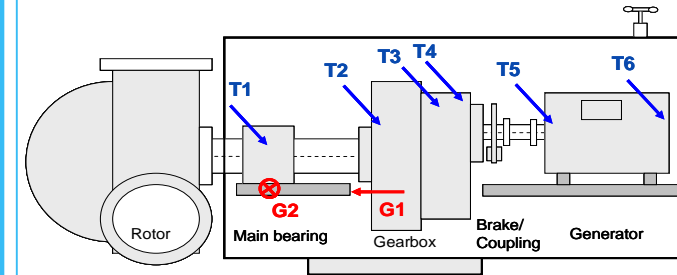
Schadenuntersuchung¹ & Designprüfung



Belastungsmessung² & Prototypvalidierung



Empfehlungen zu Condition Monitoring³



AZT Anforderungen zur Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen

→ Fokus auf Schadenursachenanalyse und Schadenprävention

1-3) AZT-Veröffentlichungen u.a. „Schäden an Antriebssträngen von Windenergieanlagen“, VGB PowerTech 07/2012;
 „Untersuchung des dynamischen Verhaltens des Triebstranges von Windenergieanlagen“, VDI-Berichte 2123;
 „Erweiterung des Umfangs von Condition Monitoring Systemen für Multi-MW und Offshore Windturbinen“, VDI-Berichte 2168

ANWENDUNG SCHWINGUNGSMESSUNG

A



→ Anlagensicherheit

Sicherheitssystem
Schutzüberwachung
der Turmschwingungen

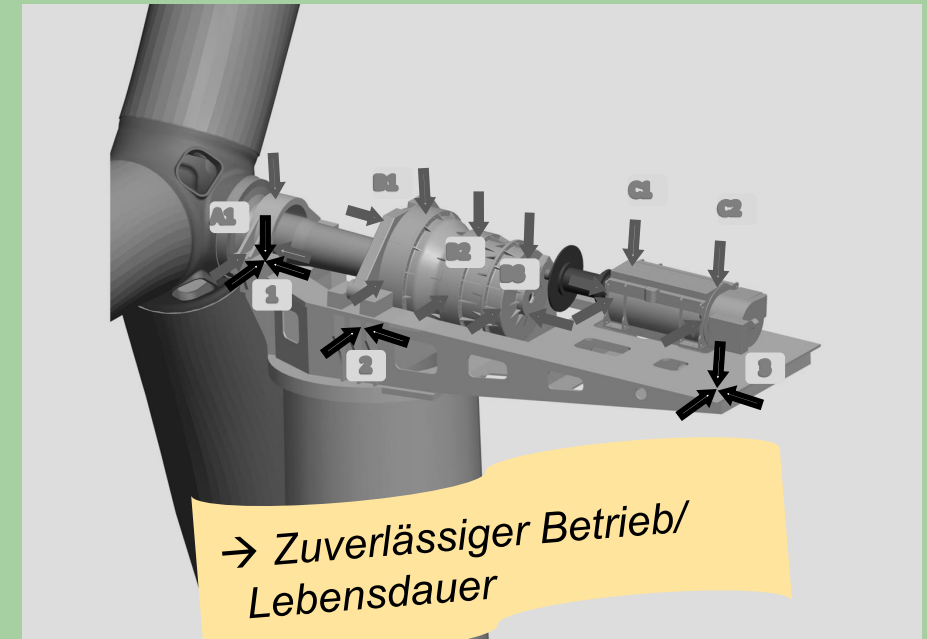
B



→ Komponentenzustand/
Instandhaltung

Condition Monitoring System
CMS + SHM*

C

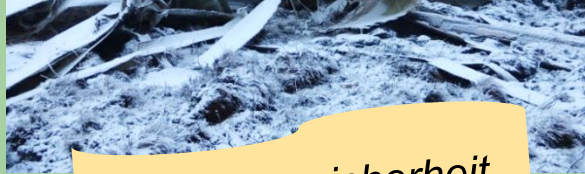
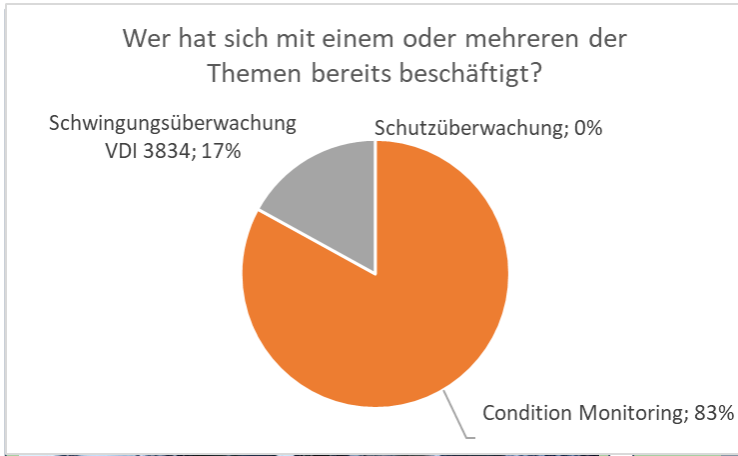


→ Zuverlässiger Betrieb/
Lebensdauer

Standardisierte
Schwingungsüberwachung
VDI 3834

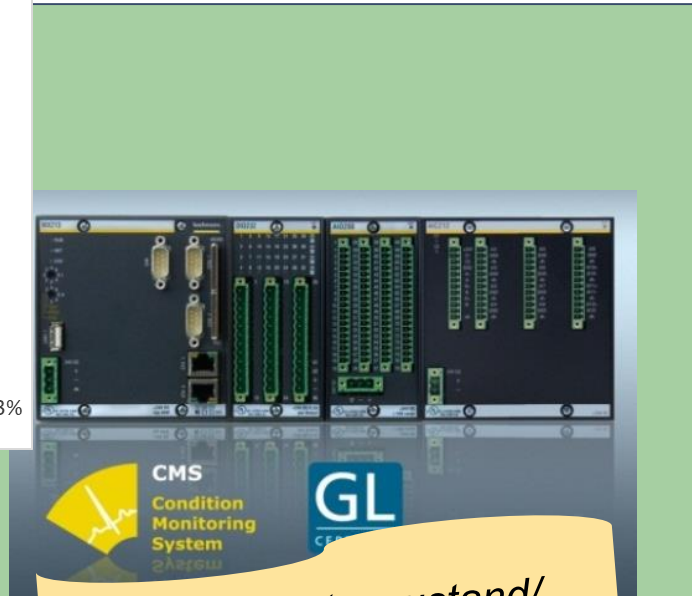
*) Structural Health Monitoring Systems

ANWENDUNGEN DER SCHWINGUNGSMESSUNG



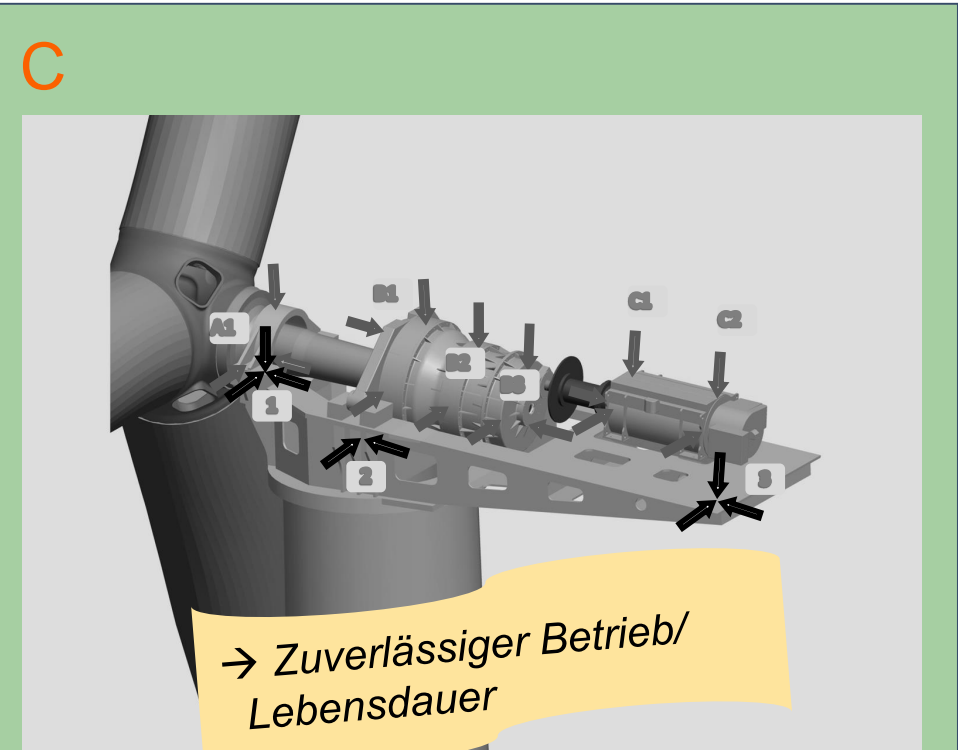
→ Anlagensicherheit

Sicherheitssystem
Schutzüberwachung
der Turmschwingungen



→ Komponentenzustand/
Instandhaltung

Condition Monitoring System
CMS + SHM



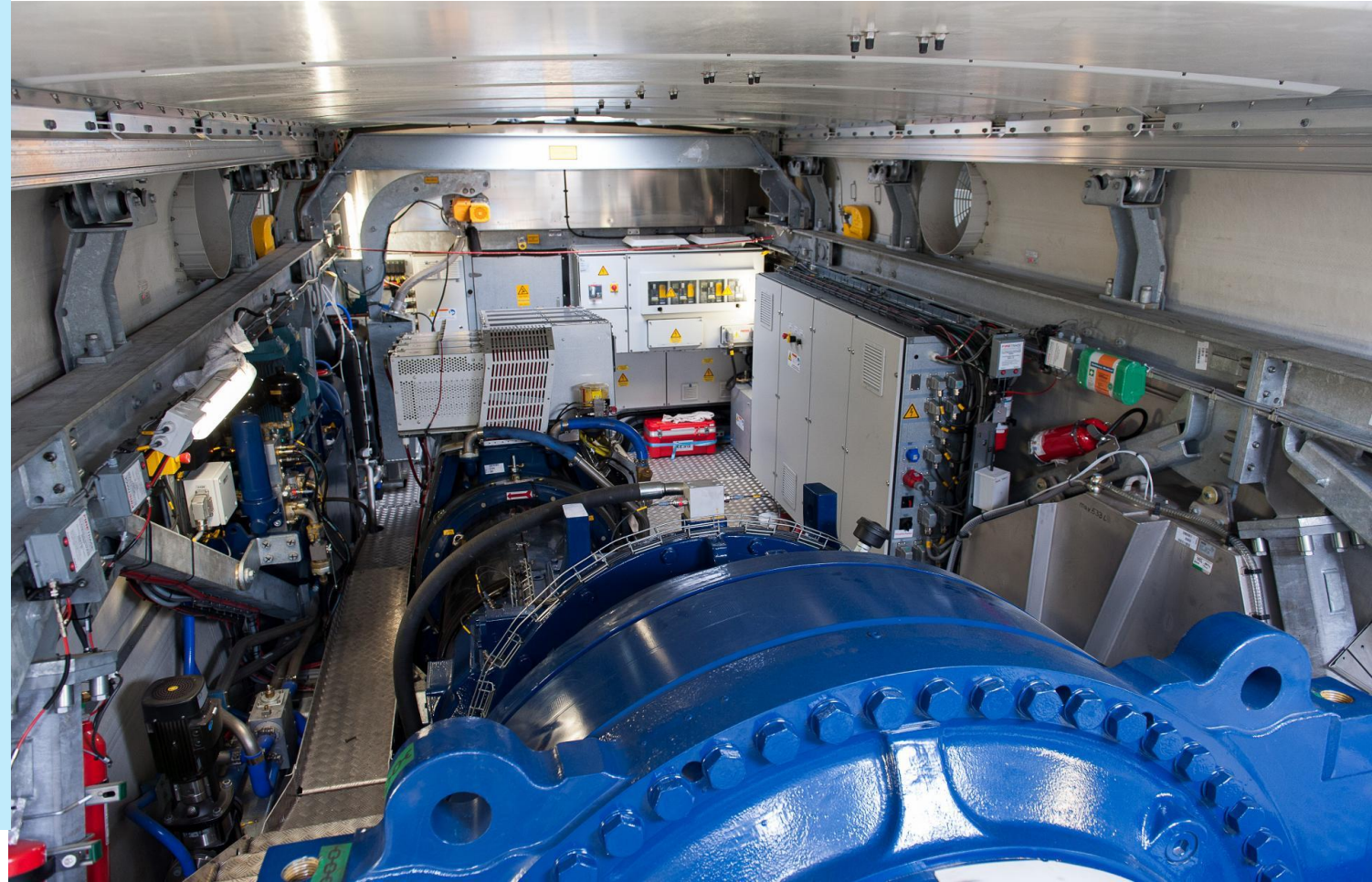
→ Zuverlässiger Betrieb/
Lebensdauer

Standardisierte
Schwingungsüberwachung
VDI 3834

Frage: Wer hat sich mit einem oder mehreren der Themen bereits beschäftigt?

02

- Größenentwicklung & Belastungen
- Lebensdauer & Instandhaltung



GRÖßENTWICKLUNG DER ANLAGEN



	1980	1985	1990	1995	2000	2005	heute =2015
Max. Nennleistung (kW)	30	80	250	600	1.500	3.000	7.000
Max. Rotordurchmesser (m)	15	20	30	46	70	90	130
Überstrichene Rotorfläche (m ²)	177	314	707	1.662	3.848	6.362	13.273
Max. Nabenhöhe (m)	30	40	50	78	100	105	150
Max. Jahresenergieertrag (MWh/a)	35	95	400	1.250	3.500	6.900	15.000

Leistungssteigerung bei Windenergieanlagen © BWE

Quelle: Bundesverband Windenergie

HALIIDE-X 12 MW

GE Renewable Energy is developing **Haliade-X 12 MW**, the biggest offshore wind turbine in the world, with **220-meter rotor**, **107-meter blade**, leading capacity factor (**63%**), and **digital capabilities**, that will help our customers find success in an increasingly competitive environment.

1063 ft
324 m

Eiffel Tower

853 ft
260 m

Haliade-X 12 MW

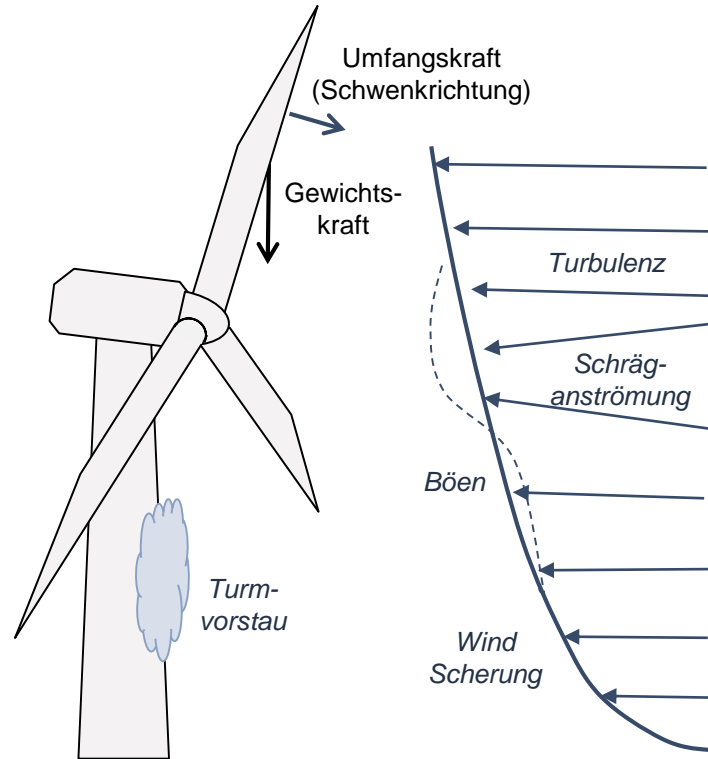
1046 ft
319 m

Chrysler Building

12 MW Prototype bei Rotterdam seit 11/2019 in Betrieb

Windenergieanlagen vollzogen in den letzten 4 Jahrzehnten eine enorme Leistungssteigerung und Größenwachstum
Daraus resultieren ebenfalls große technische Herausforderungen

DYNAMISCHE BELASTUNGEN

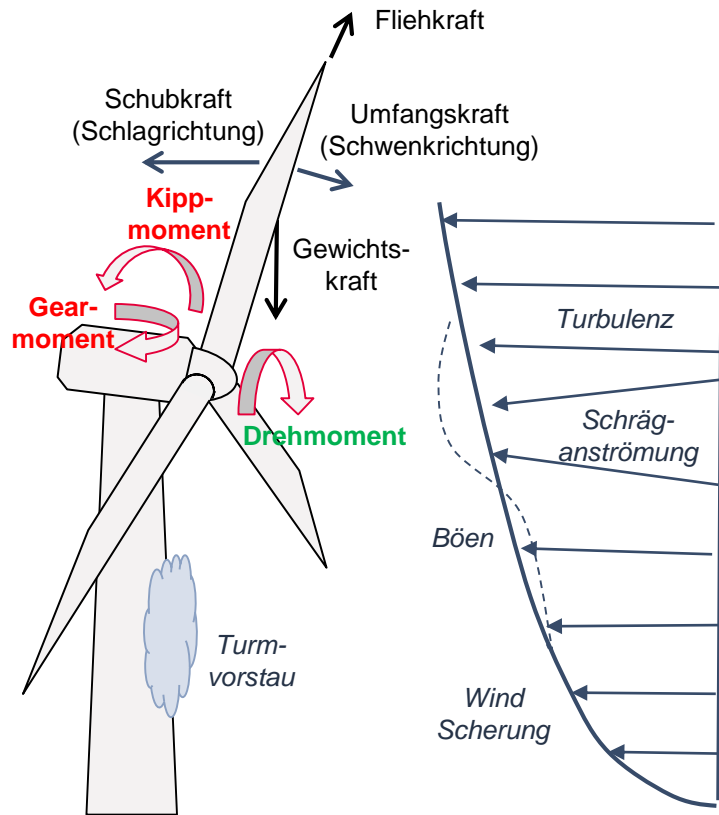


Auf die Rotorblätter wirkende Lasten

- **Biegung in Schwenkrichtung:**
 Zyklische Biegung infolge Rotation durch das Schwerfeld und das überlagerte Drehmoment
 → Während der Lebensdauer erfahren die Blätter eine sehr große Anzahl an Rotationen ($> 10^7$ Umdrehungen)

Der fortschreitende Trend zu größeren Rotordurchmessern führt zur Zunahme der dynamischen Belastung der Rotorblätter und der weiterer Komponenten der Windenergieanlage

DYNAMISCHE BELASTUNGEN



Auf die Rotorblätter wirkende Lasten

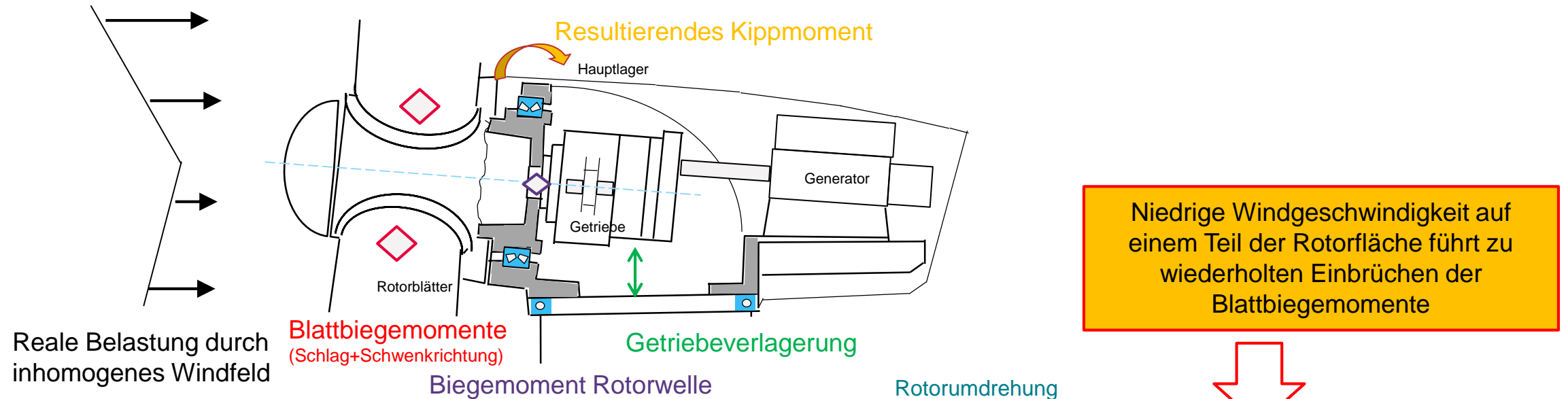
➤ **Biegung in Schwenkrichtung:**
 Zyklische Biegung infolge Rotation durch das Schwerfeld und das überlagerte Drehmoment
 → Während der Lebensdauer erfahren die Blätter eine sehr große Anzahl an Rotationen ($> 10^7$ Umdrehungen)

➤ **Biegung in Schlagrichtung:**
 Schwankende Biegung in Windrichtung infolge großer veränderlicher Schubkräfte
 → Windscherung, Böen, Turbulenz, Turmvorstau, Nachlaufwirbel durch in der Anströmung befindlicher Anlagen.
 Belastungen hängen stark von lokalen Bedingungen ab.

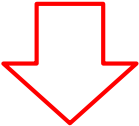
Diese Lasten müssen vom Hauptlager aufgenommen werden und übertragen sich auf den Triebstrang und die Struktur (Turm + Fundament).

Der fortschreitende Trend zu größeren Rotordurchmessern führt zur Zunahme der dynamischen Belastung der Rotorblätter und der weiterer Komponenten der Windenergieanlage

UMFANGREICHE MESSKAMPAGNEN DES AZT AN WINDTURBINEN



Niedrige Windgeschwindigkeit auf einem Teil der Rotorfläche führt zu wiederholten Einbrüchen der Blattbiegemomente



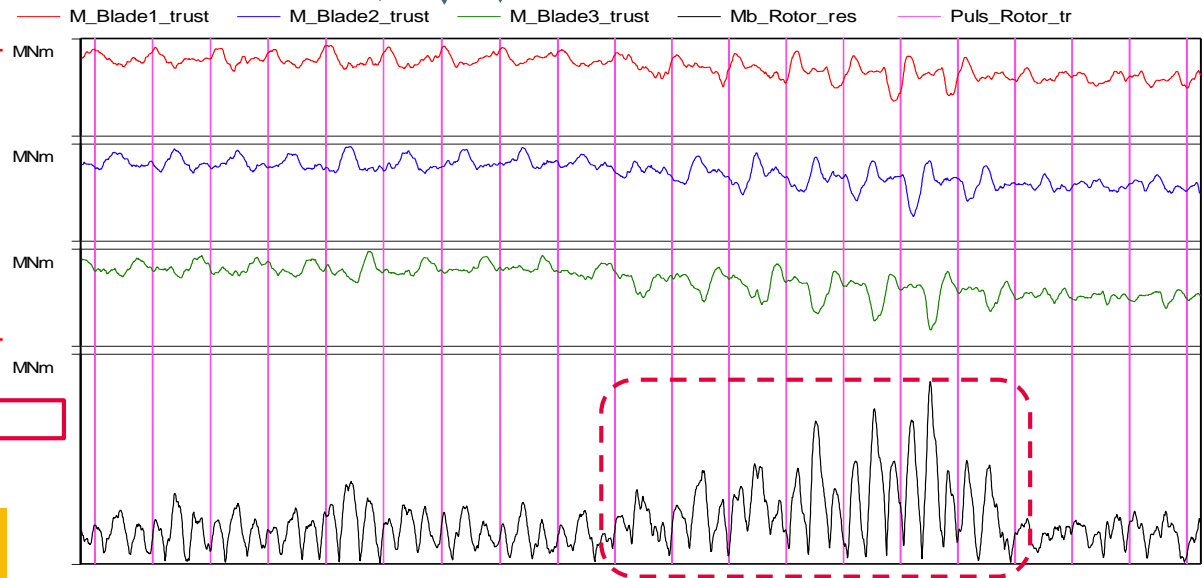
Reale Belastung durch inhomogenes Windfeld

Blattbiegemomente (Schlag+Schwenkrichtung)

Getriebeverlagerung

Biegemoment Rotorwelle

Rotorumdrehung



Schlagmomente Blatt 1..3

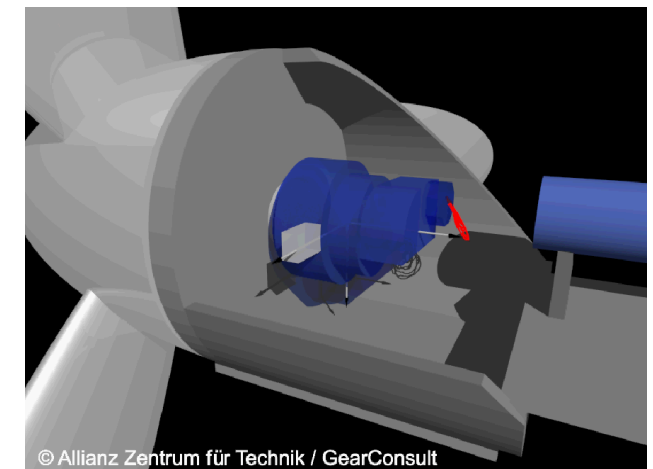
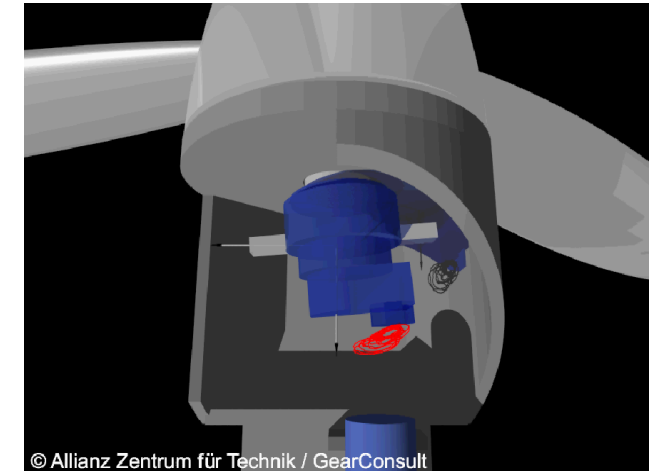
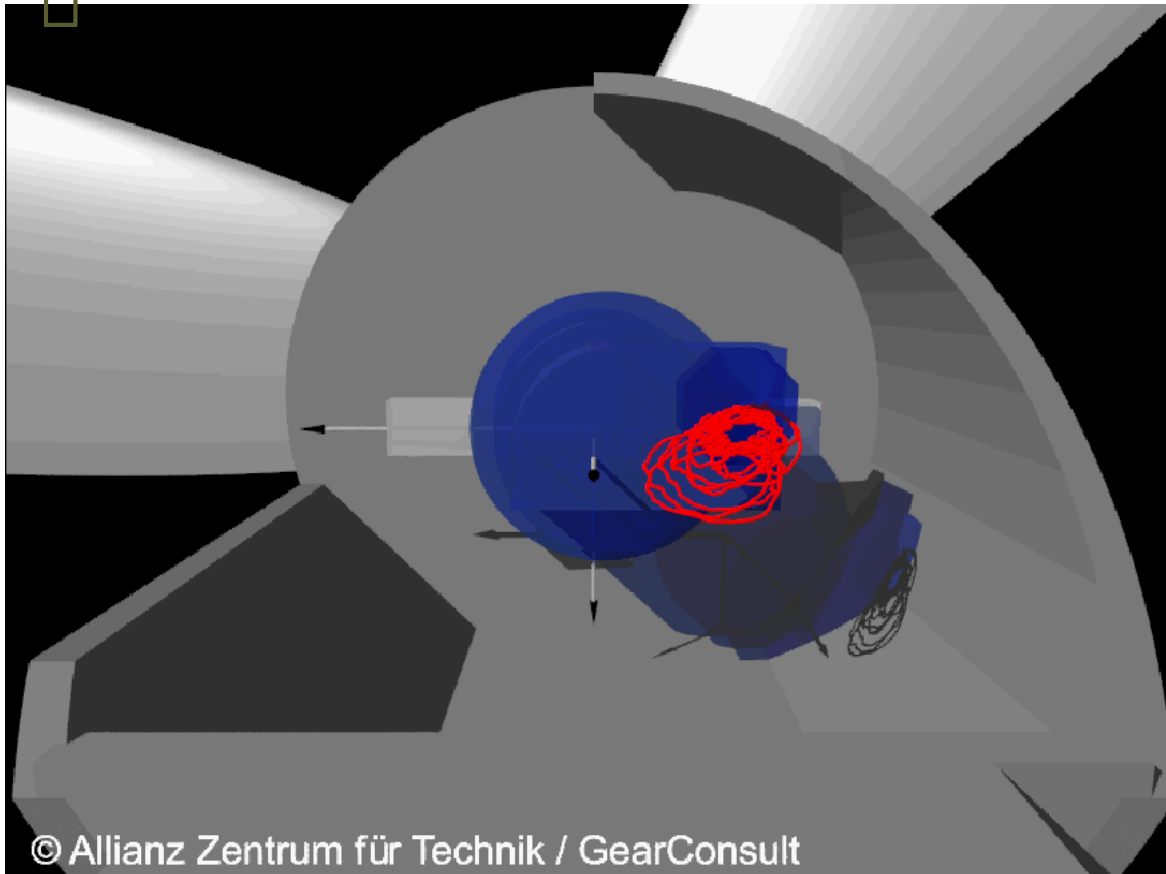
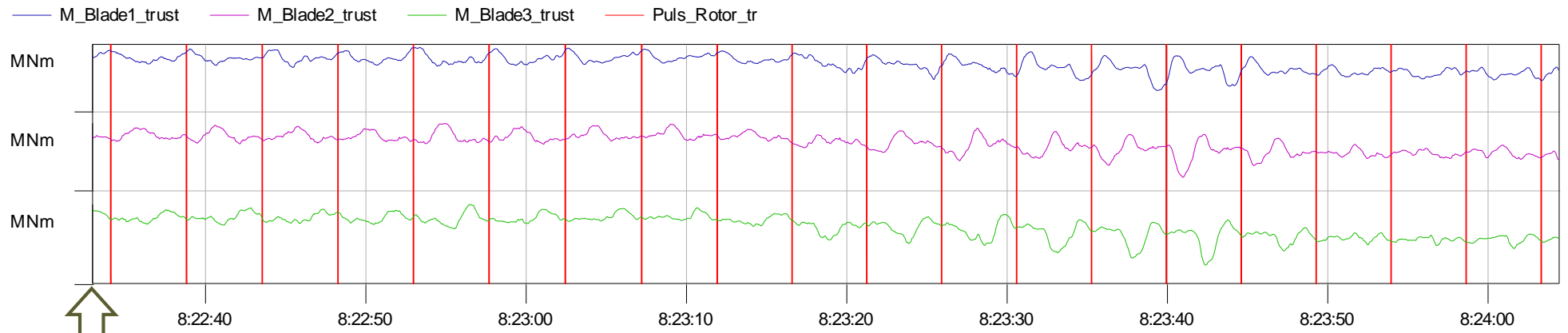
Die stark ungleiche Rotorbelastung führt zu sehr großen Kippmomenten auf den Triebstrang



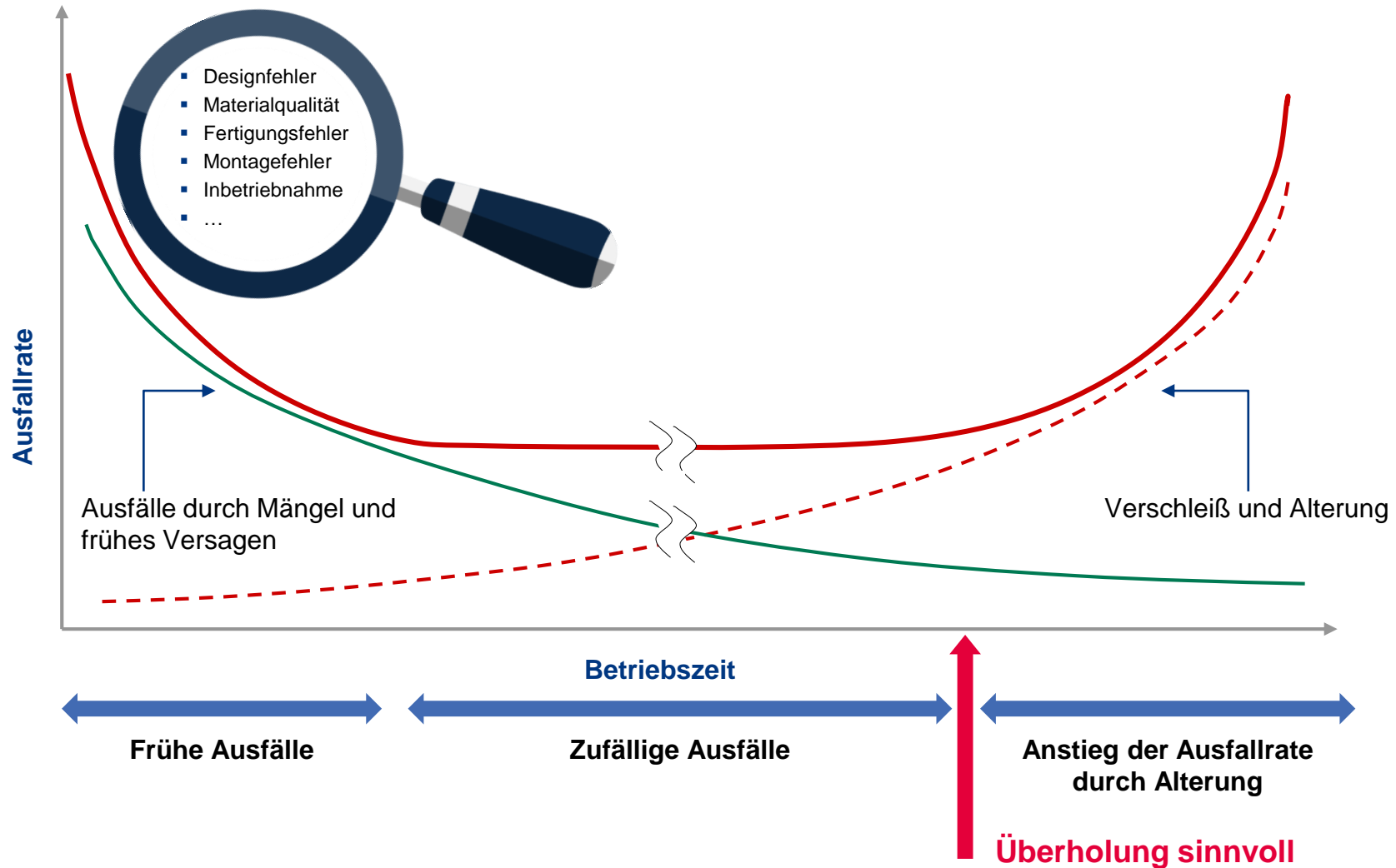
[Link zur Videosequenz](#)



Schlagmomente der drei Rotorblätter (13 U/min)



TECHNISCHE ZUVERLÄSSIGKEIT „BADEWANNENKURVE“



AUSLEGUNGSLEBENSDAUER UND ÜBERHOLUNGSINTERVAL



Dampfturbinen

- Auslegungslbensdauer 30 Jahre (~240.000 Std)
- Hersteller Empfehlung Generalüberholung nach 50.000 .. 75.000 Std
- VGB-R 115M Mittlere Überholung nach 50.000 Std, Generalüberholung 100.000 Std



Wind Onshore

- Auslegungslbensdauer 20 Jahre (~ 130.000 - 160.000 Std)
- **Keine geplante Überholung!**
- Trigger von Überholungen durch Schäden oder zustandsabhängig



Wind Offshore

- Auslegungslbensdauer 25 Jahre (~ 200.000 Std)
- **Keine geplante Überholung!**
- Trigger von Überholungen durch Schäden oder zustandsabhängig

AUSLEGUNGSLEBENSDAUER UND ÜBERHOLUNGSINTERVAL



Dampfturbinen

- Auslegungslbensdauer 30 Jahre (~240.000 Std)
- Hersteller Empfehlung Generalüberholung nach 50.000 .. 75.000 Std
- VGB-R 115M Mittlere Überholung nach 50.000 Std, Generalüberholung 100.000 Std



Wind Onshore

- Auslegungslbensdauer 20 Jahre (~ 130.000 - 160.000 Std)
- **Keine geplante Überholung!**
- Trigger von Überholungen durch Schäden oder zustandsabhängig



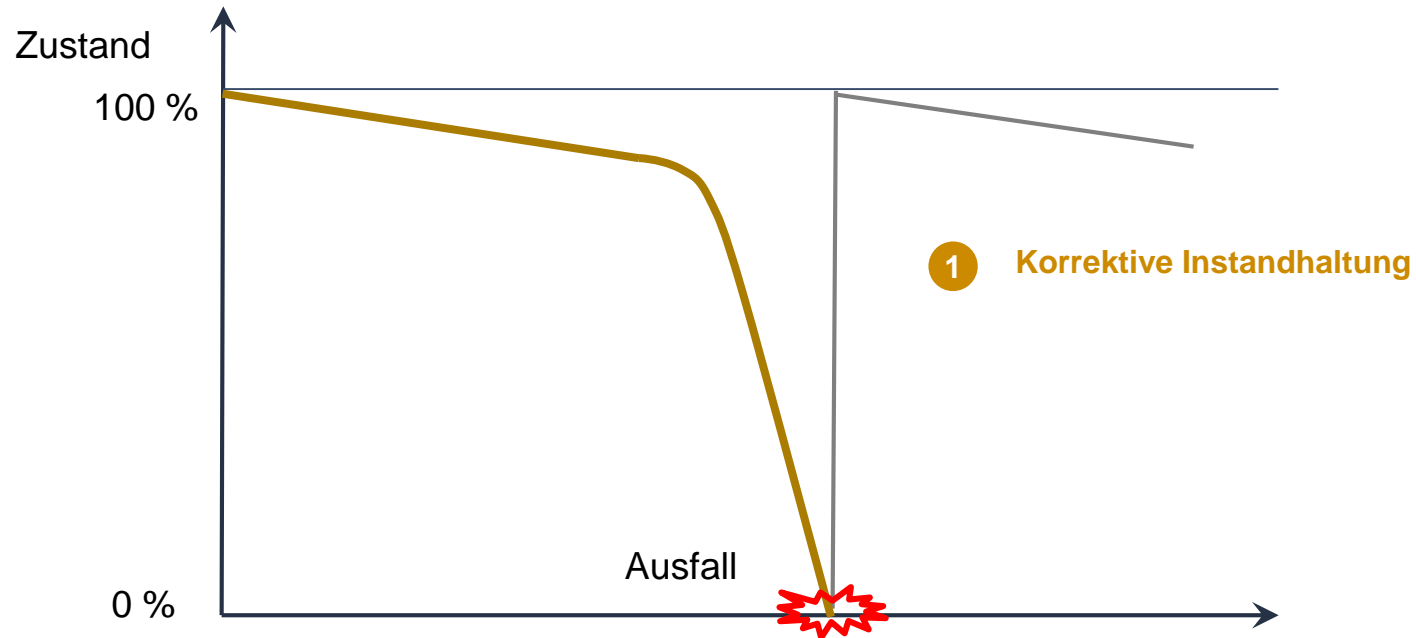
Wind Offshore

- Auslegungslbensdauer 25 Jahre (~ 200.000 Std)
- **Keine geplante Überholung!**
- Trigger von Überholungen durch Schäden oder zustandsabhängig

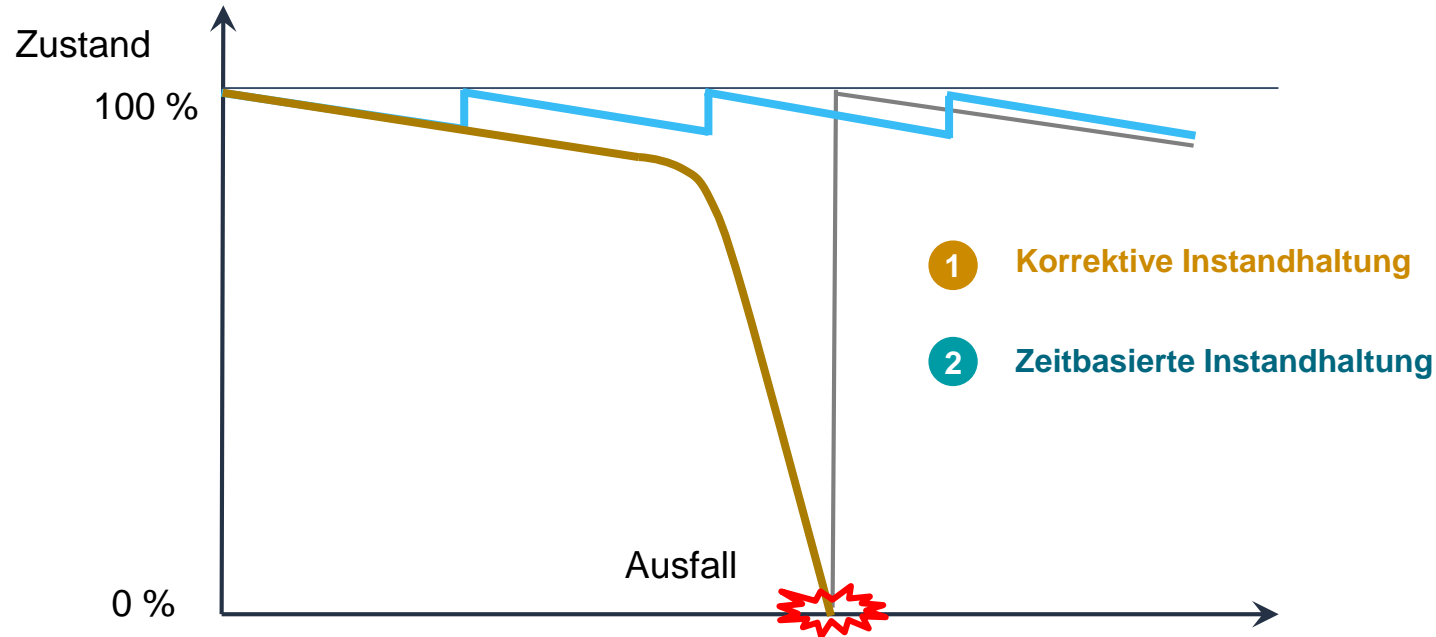
- 1) Es kann nicht erwartet werden, dass Komponenten von Windenergieanlagen (onshore und offshore) eine Lebensdauer von 20 Jahren erreichen
- 2) Ungeplante Instandhaltung ist kostenintensiv und wirkt sich auf die Zuverlässigkeit durch erhöhte Stillstandszeiten aus

ENTWICKLUNG VON INSTANDHALTUNGSSTRATEGIEN

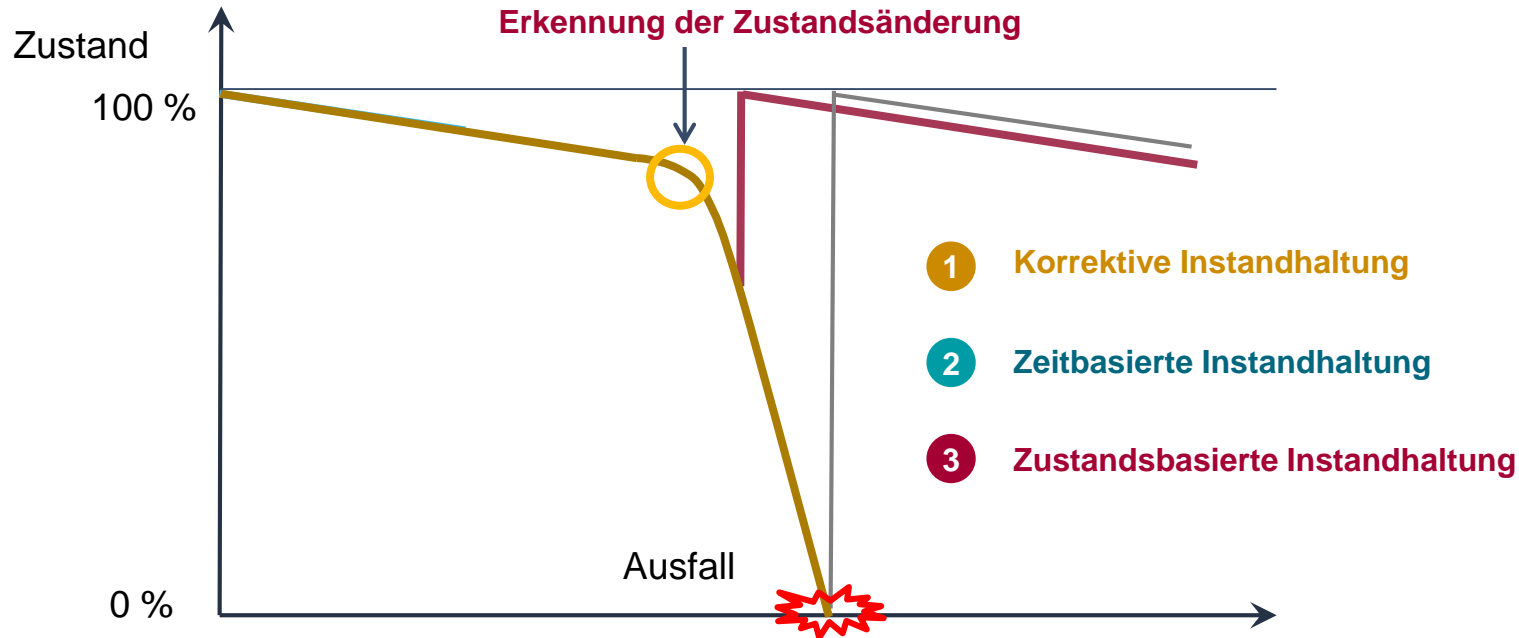
1
1960er
Korrektiv



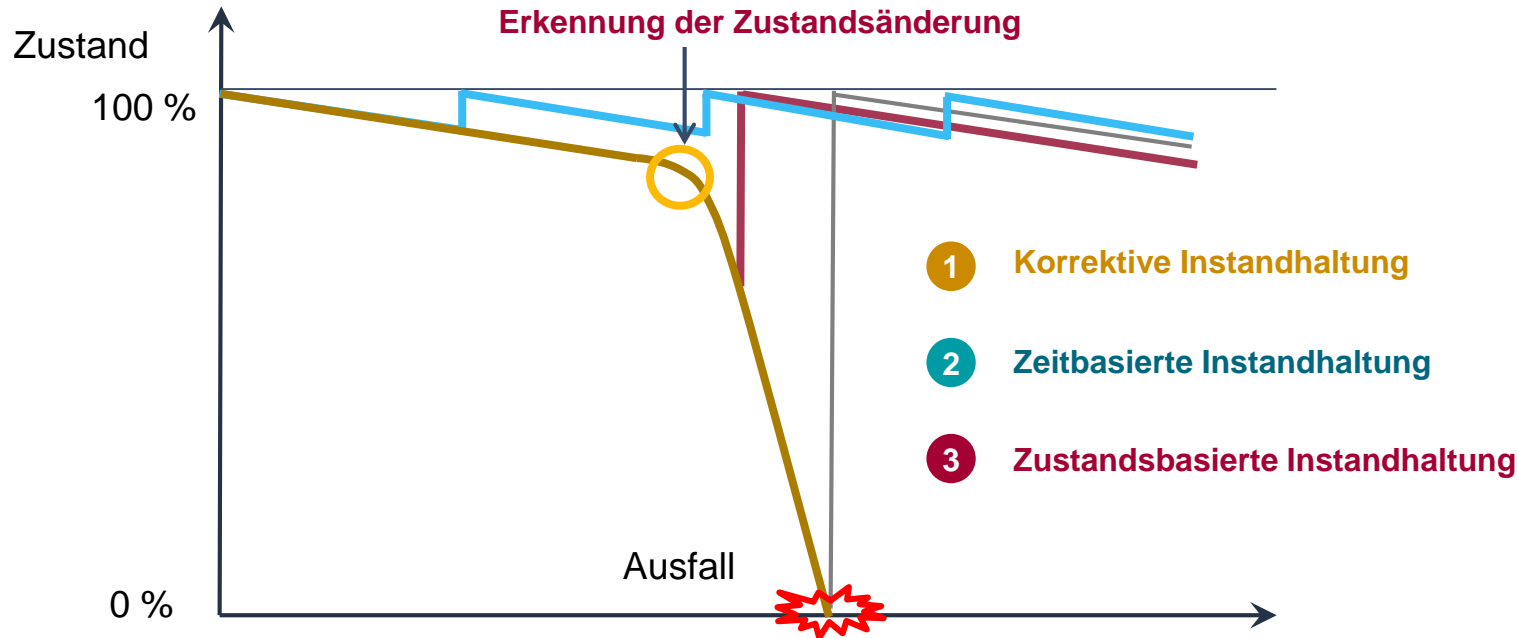
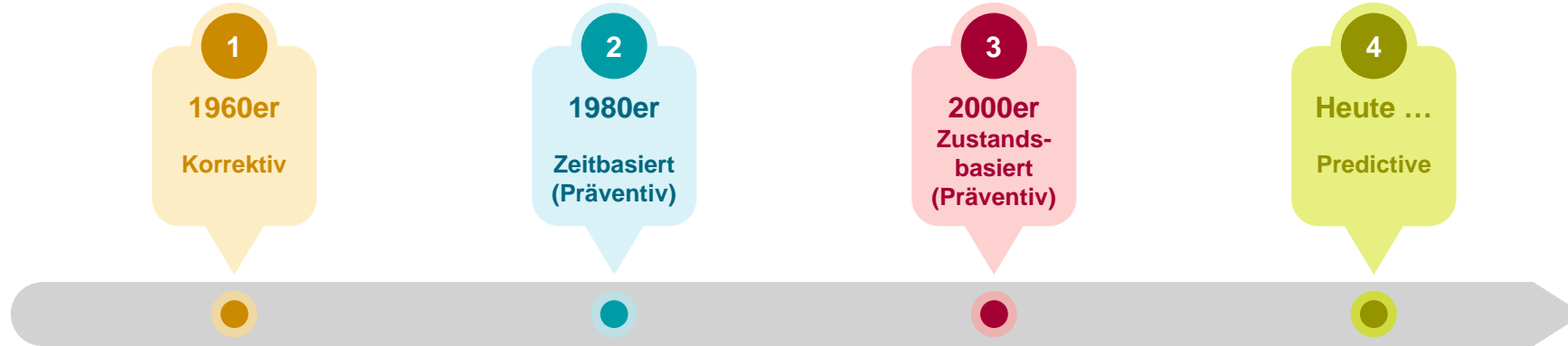
ENTWICKLUNG VON INSTANDHALTUNGSSTRATEGIEN



ENTWICKLUNG VON INSTANDHALTUNGSSTRATEGIEN



ENTWICKLUNG VON INSTANDHALTUNGSSTRATEGIEN



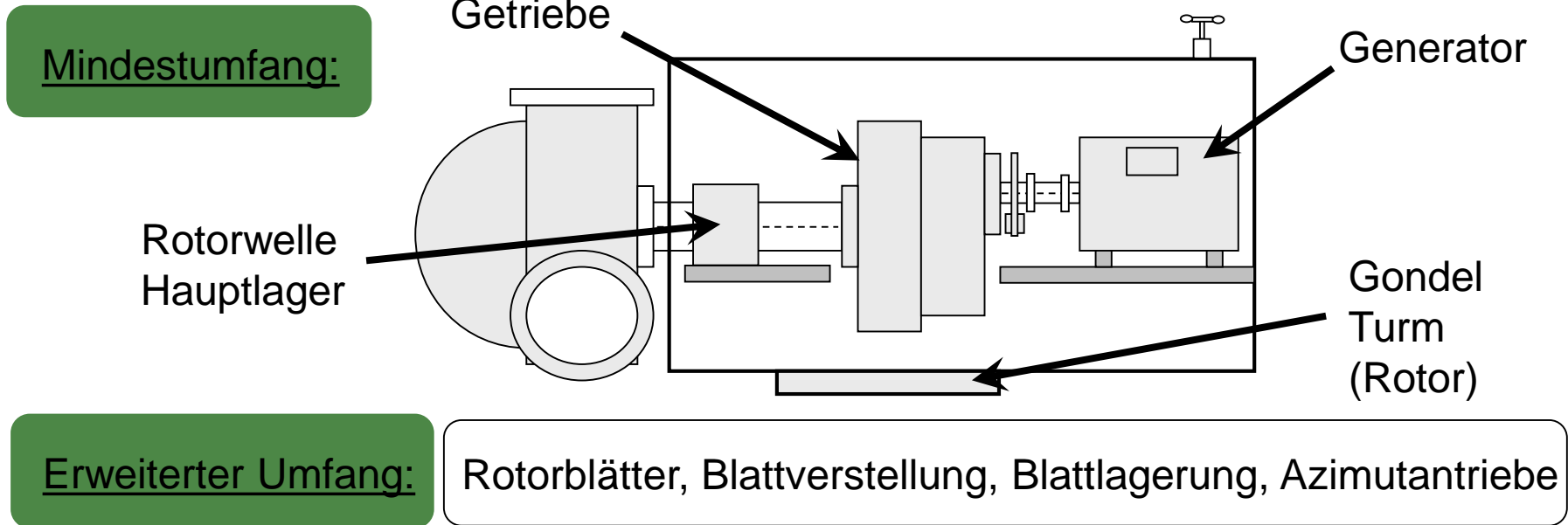
Predictive Maintenance*

- Mustererkennung, Machine Learning-Algorithmen
- Regelbasierte und physikalische Modelle
- Simulation des Maschinenverhaltens mittels Digital Twin
- Erkennung von Fehlfunktionen, Lebensdauervorhersage

*) AZT-Veröffentlichung "TRENDPAPER Predictive Maintenance - Influence on Insured Risks", 04 D 2020 ES 001

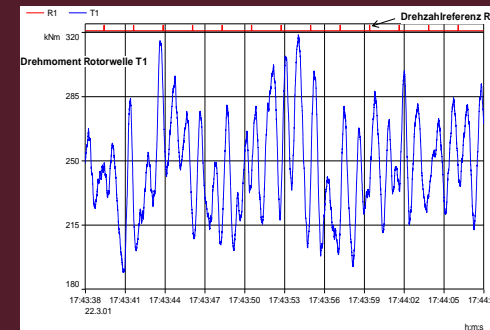
CONDITION MONITORING SYSTEME (CMS)

→ AZT VERÖFFENTLICHTE IN 2003 ANFORDERUNGEN AN CMS*



Schwierigkeit:

- Dynamisches Betriebsverhalten
- Vielzahl innerer Erregermechanismen
- Äußere Schwingungsanregung



BEISPIEL NUTZEN CMS

Es geht auch ohne CMS...



Instandsetzungskosten: 141.000 €

▶ *HusumWind 2005*

Projekt GmbH

Quelle: Planungsgemeinschaft Energie und Umwelt
Projekt GmbH www.planungsgemeinschaft.de

BEISPIEL NUTZEN CMS

Kostensparnis

Kosten Getriebetausch

Getriebe	185,534 €
Synthetiköl	8,075 €
Kühler	4,000 €
Kran An- & Abfahrt	2,109 €
Kran Pauschale 10 Std.	2,876 €
Arbeitszeit (4 Pers. 3 Tg a 10Std.)	6,540 €
Fahrtkostenpauschale	554 €
Genehmigung für Kranfahrt	300 €

209.988 €

Kosten rechtzeitiger Lagertausch

Lager NJ2326EN	1,500 €
Mineralöl	1,346 €
Arbeitszeit 2 Pers. 1 Tg	1,353 €
Fahrtkostenpauschale	554 €

4.753 €

Kosten Generortausch

Generator 1650 kW (Weier)	133,506 €
Kran An- & Abfahrt	2,109 €
Kran Pauschale 10 Std.	2,876 €
Arbeitszeit 2 Pers. 2 Tg	2,706 €
Fahrtkostenpauschale	554 €

141.751 €

Kosten rechtzeitiger Lagertausch

Lager 6330 M C3	1,500 €
Arbeitszeit 2 Pers. 1 Tg	1,353 €
Fahrtkostenpauschale	554 €

3.407 €

Differenz:

Getriebe	205,235 €
Generator	138.344 €

BEISPIEL NUTZEN CMS

Es geht auch ohne CMS...



Instandsetzungskosten: 141.000 €

HusumWind 2005

Projekt GmbH

Quelle: Planungsgemeinschaft Energie und Umwelt
Projekt GmbH www.planungsgemeinschaft.de

Vorteile von CMS

- Frühzeitige Erkennung von Schäden
- Verringerung der Folgeschäden
- Planbarkeit der notwendigen Instandhaltung

Verschiedene Studien nennen auf Basis erkannter Schäden eine durchschnittliche Amortisationszeit für die Investition in CMS von 2 bis 4 Jahre.

Der durch die frühzeitige Schadenerkennung und Planbarkeit der Instandsetzung verminderte Produktionsausfall ist darin nicht berücksichtigt.

Quelle u.a. μ -Sen GmbH:
„Praxisbezogene Nutzen-Analyse von CMS - detektierte Fehler und bestätigte Schäden für die Jahre 2006, 2007 und 2008“

AZT-HERSTELLERUMFRAGE IN 2012

→ AUSGELIEFERTE CMS



© Allianz Risk Consulting GmbH 2012

→ Gemäß Abschätzung wurden 5.000 dieser Systeme in Deutschland installiert. Bei einem Gesamtbestand in 2012 von 22.297 Windturbinen waren etwa 22 % der Anlagen mit CMS ausgerüstet.

01db-Metravib / ACOEM	Bachmann Monitoring	Bently Nevada	
Brüel & Kjaer Vibro	CMC	DMT	Eickhoff Antriebstechnik
FAG Industrial Services	Flender Service	GfM Gesellschaft für Maschinendiagnose	
Gram & Juhl		ISTEC	Prüftechnik
Vulcan Seacom	SKF	Status Pro / SPM	
An Befragung beteiligte CMS Hersteller + Lieferanten, die Daten geliefert haben			

03

- Zustandsbeurteilung & Diagnose
- Schwingungsbeurteilung



BEGRIFFSKLÄRUNG* – ZUSTANDSBEURTEILUNG UND DIAGNOSTIK

Zustandsbeurteilung

Vergleich aktueller Beurteilungsgrößen mit Bezugswerten

→ Feststellung, ob sich ein Beurteilungsobjekt in einwandfreiem oder geschädigtem Zustand befindet

Zustandsüberwachung

(Condition monitoring)

Regelmäßige Durchführung

BEGRIFFSKLÄRUNG* – ZUSTANDSBEURTEILUNG UND DIAGNOSTIK



*) vgl. DIN ISO 17359 Beiblatt 1: Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Erläuterungen zu Fachbegriffen

BEGRIFFSKLÄRUNG* - SCHWINGUNGSBEURTEILUNG

Schwingungsbeurteilung

Bewertung der gemessenen (belastungsrelevanten)
Schwingungen durch Vergleich mit festgelegten
Bezugswerten (ohne dass der Zustand beurteilt wird)

→ Absicherung eines zuverlässigen Betriebs

Schwingungs- überwachung

Regelmäßige Durchführung

BEGRIFFSKLÄRUNG* - SCHWINGUNGSBEURTEILUNG

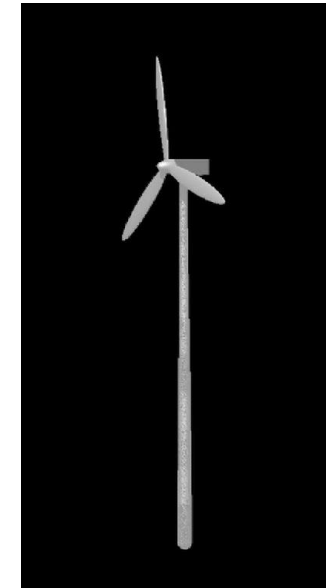
Schwingungsbeurteilung

Bewertung der gemessenen (belastungsrelevanten)
Schwingungen durch Vergleich mit festgelegten
Bezugswerten (ohne dass der Zustand beurteilt wird)

→ Absicherung eines zuverlässigen Betriebs

Schwingungs- überwachung

Regelmäßige Durchführung



*) vgl. DIN ISO 17359 Beiblatt 1: Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen — Erläuterungen zu Fachbegriffen

STAND DER SCHWINGUNGSÜBERWACHUNG BEI WINDTURBINEN

- Nach Zertifizierungsrichtlinien des DNV GL ist für Windenergieanlagen mit Blattwinkelverstellung oder resonanznahe Betrieb eine betriebliche Schwingungsüberwachung der Turmschwingungen gefordert
- Ähnliches ist auch in der DiBt-Richtlinie 2012 vorgeschrieben
- Die Anforderungen dienen dem Schutz der Anlage, damit Auslegungslasten im Betrieb nicht überschritten werden

Anmerkung: Resonanznah bedeutet, die Drehfrequenz oder Flügelpassierfrequenz haben einen Abstand von kleiner gleich $\pm 5\%$ von einer Turmbiegeeigenfrequenz (vgl. DNVGL ST-0438, ST-0437 und ST-0126)

STAND DER SCHWINGUNGSÜBERWACHUNG BEI WINDTURBINEN

- Nach Zertifizierungsrichtlinien des DNV GL ist für Windenergieanlagen mit Blattwinkelverstellung oder resonanznahe Betrieb eine betriebliche Schwingungsüberwachung der Turmschwingungen gefordert.
- Ähnliches ist auch in der DiBt-Richtlinie 2012 vorgeschrieben.
- Die Anforderungen dienen dem Schutz der Anlage, damit Auslegungslasten im Betrieb nicht überschritten werden.

Anmerkung: Resonanznah bedeutet, die Drehfrequenz oder Flügelpassierfrequenz haben einen Abstand von kleiner gleich $\pm 5\%$ von einer Turmbiegeeigenfrequenz (vgl. DNVGL ST-0438, ST-0437 und ST-0126)

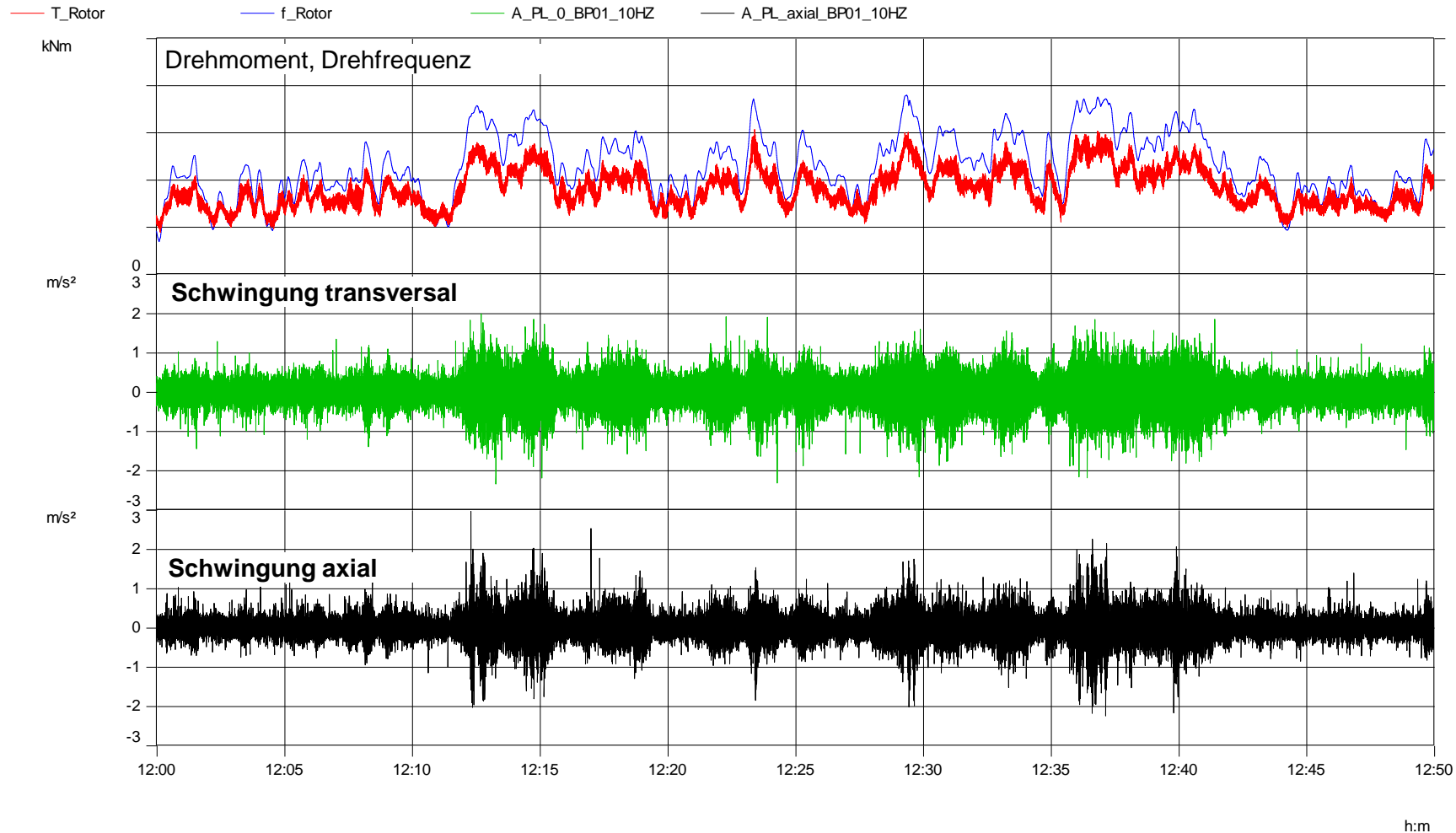
- Eine systematische Schwingungsüberwachung der **Struktur** und des **Triebstrangs** von Windenergieanlagen, wie sonst bei kapitalintensivem, rotierenden Equipment üblich, ist jedoch nicht verbreitet.
- Zu diesem Zweck werden nachfolgend normierte Beurteilungskennwerte vorgestellt, die mit vorhandenen Messstellen von Condition Monitoring Systemen ausgewertet werden können.

04 FALLBEISPIEL

- Turmschwingungen



BEISPIEL TURMSCHWINGUNGEN AUF SCHWINGEN EINER DREHZAHLVARIABLEN ANLAGEN



0,43 m/s²_{RMS} | 66 mm/s_{RMS}

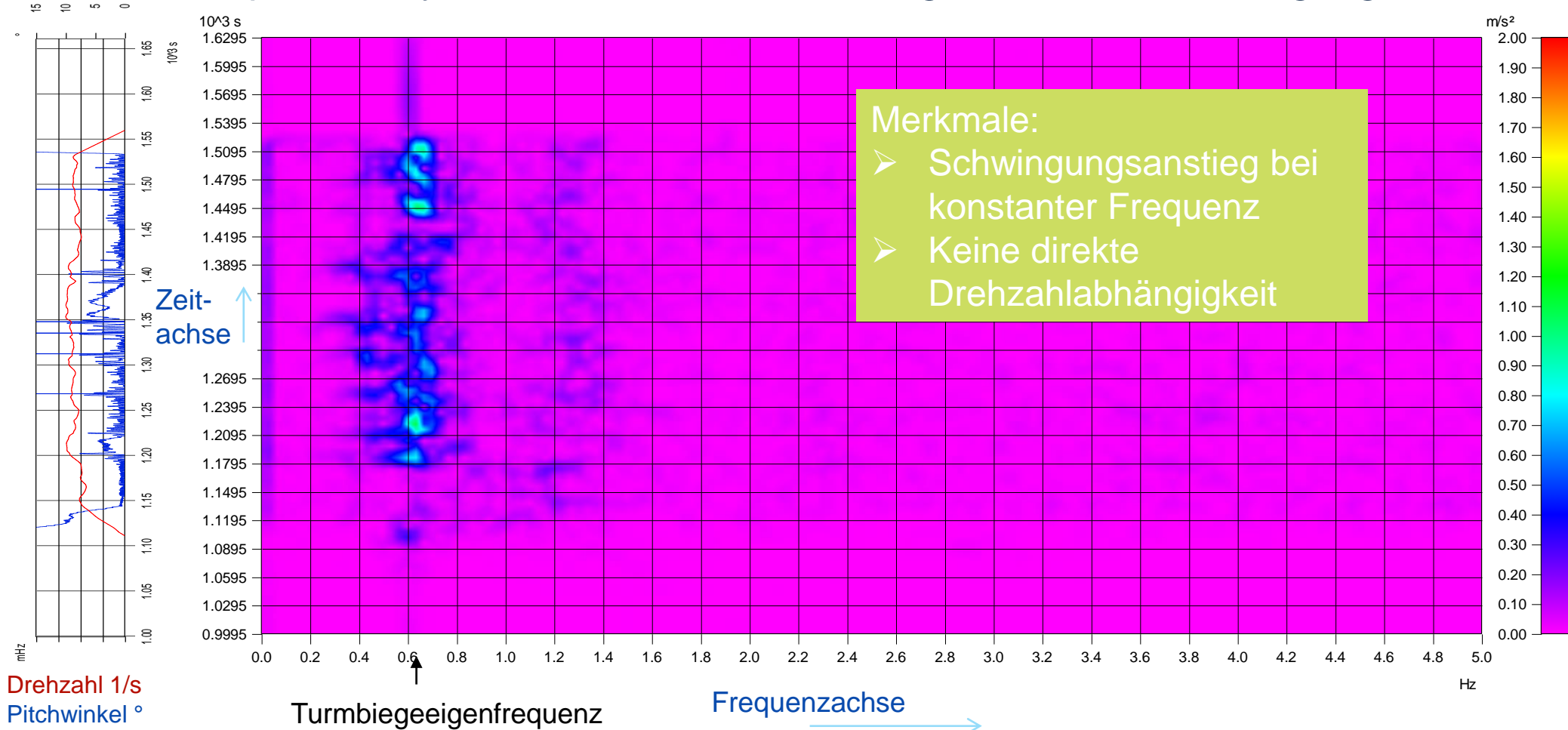
Beurteilungsbeschleunigung |
-geschwindigkeit
nach VDI 3834

0,53 m/s²_{RMS} | 126 mm/s_{RMS}

BEISPIEL TURMSCHWINGUNGEN

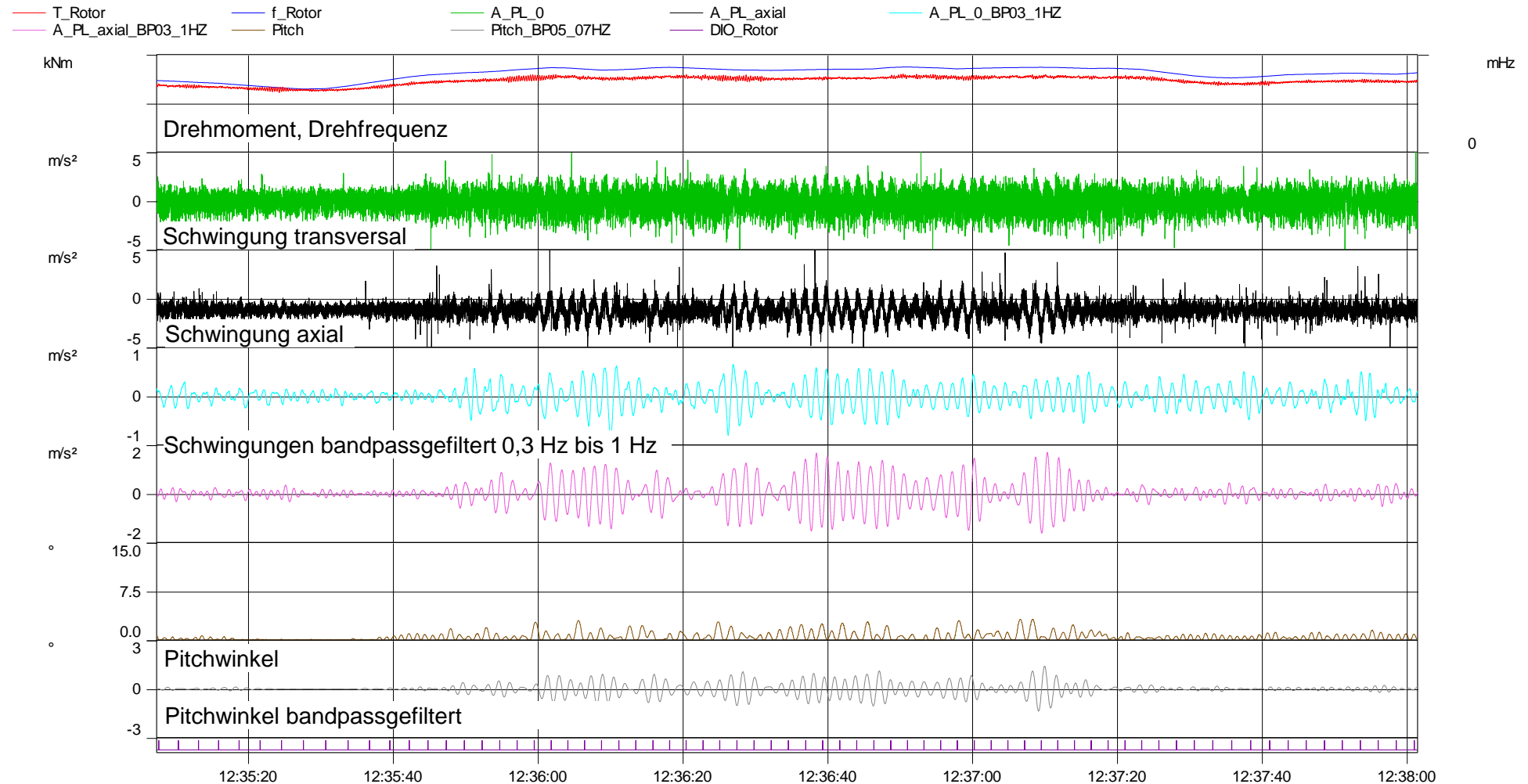
AUFSCHWINGEN EINER DREHZAHLVARIABLEN ANLAGEN

Frequenzanalyse als Wasserfalldarstellung der axialen Schwingungen



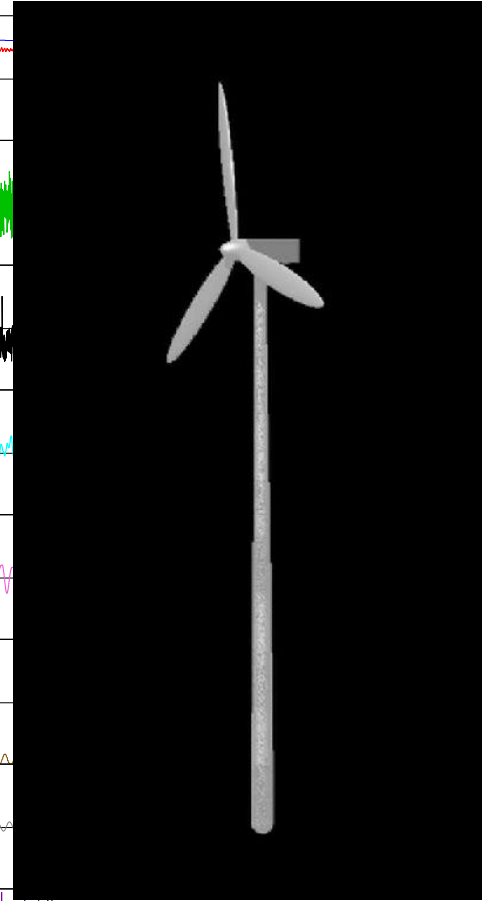
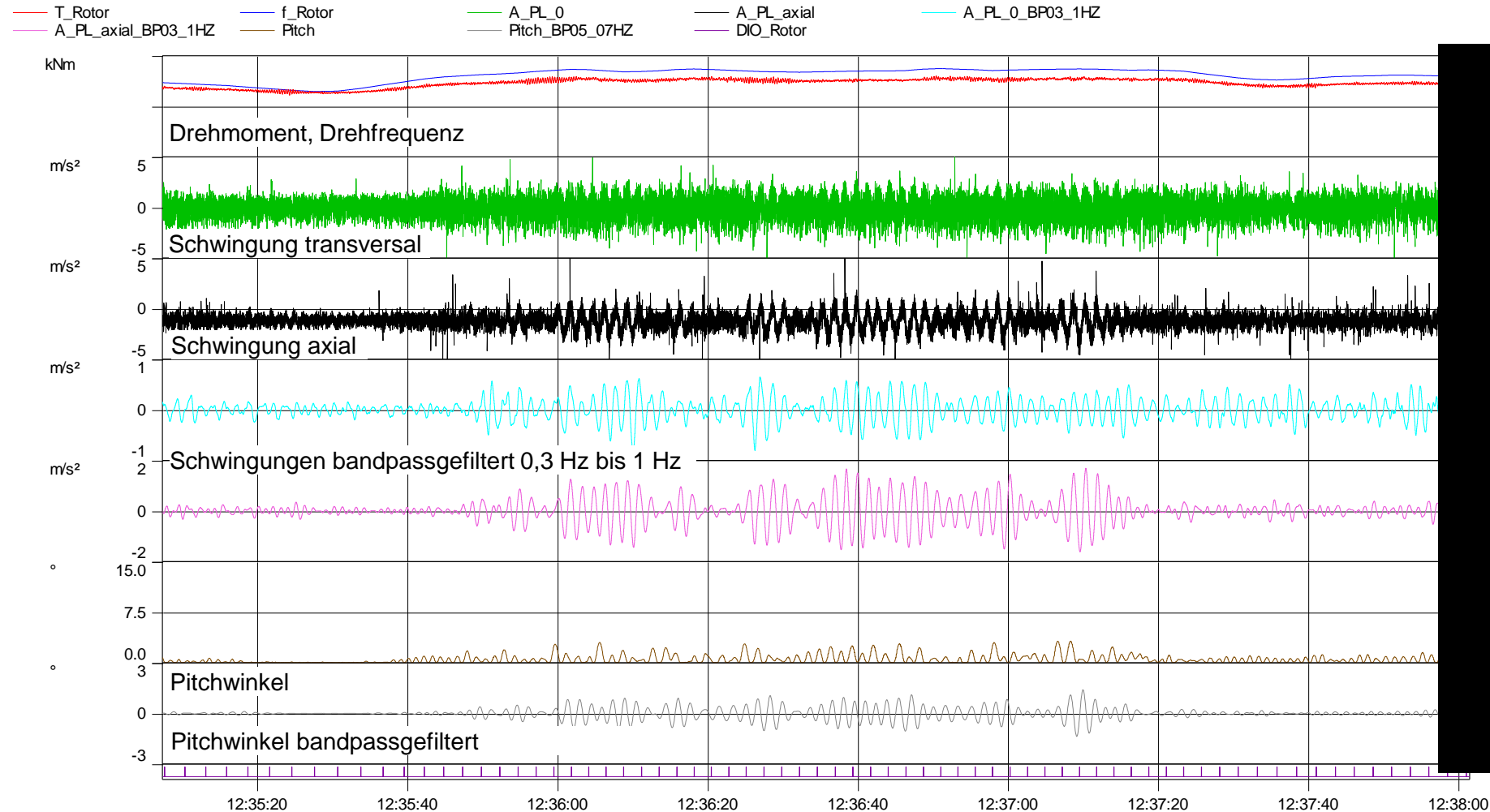
BEISPIEL TURMSCHWINGUNGEN

Anregung der 1. Turmbiegeeigenfrequenz durch Pitchdynamik



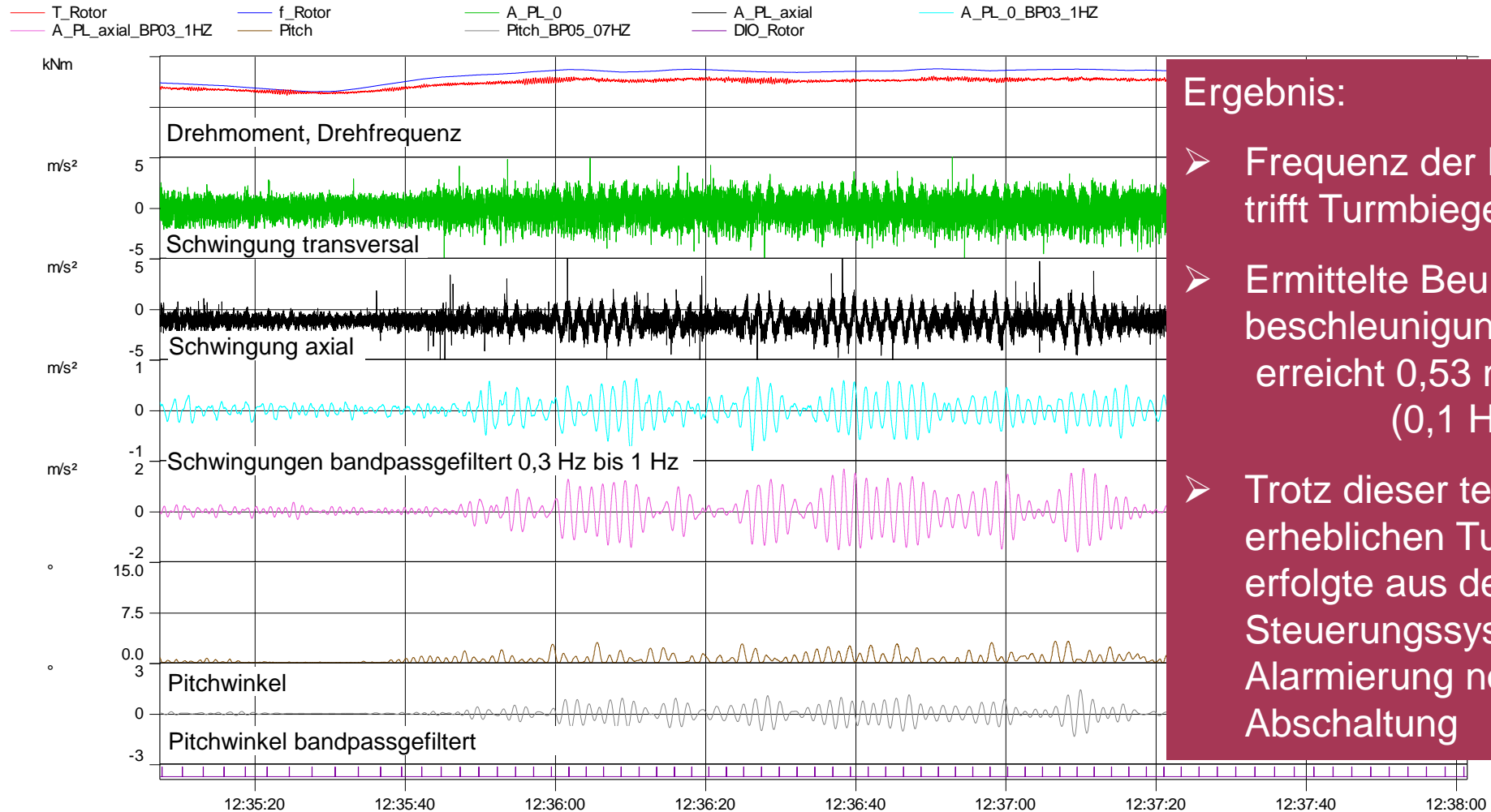
BEISPIEL TURMSCHWINGUNGEN

Anregung der 1. Turmbiegeeigenfrequenz durch Pitchdynamik



[Link zum Video](#)

BEISPIEL TURMSCHWINGUNGEN



Ergebnis:

- Frequenz der Pitchregelung trifft Turmbiegeeigenfrequenz
- Ermittelte Beurteilungsbeschleunigung erreicht $0,53 \text{ m/s}^2_{\text{eff.}}$ (0,1 Hz – 10 Hz)
- Trotz dieser teilweise sehr erheblichen Turmschwingungen erfolgte aus dem Steuerungssystem weder eine Alarmierung noch eine Abschaltung

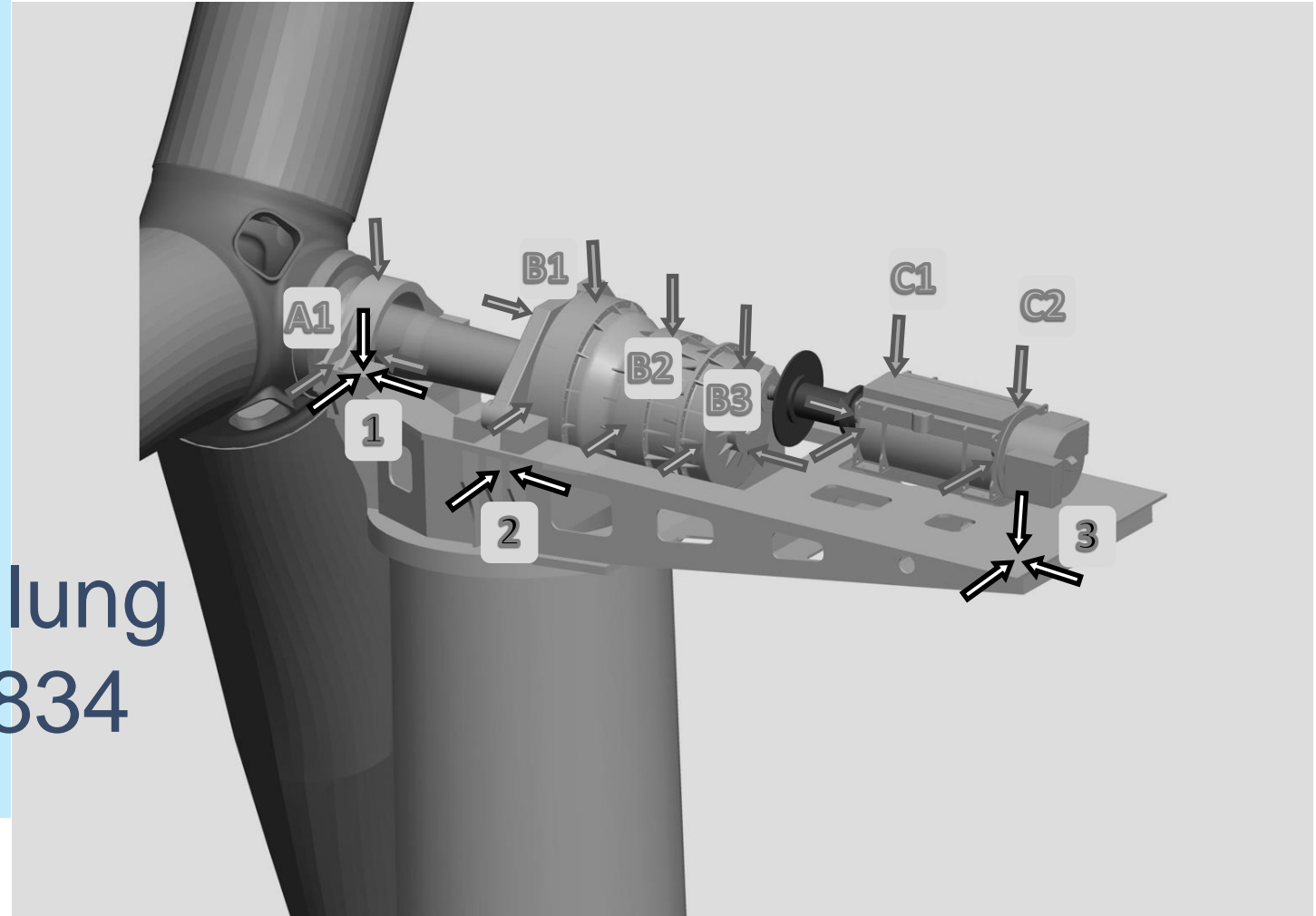


Das Beispiel zeigt, dass eine Schwingungsüberwachung ergänzend zum Schutzsystem sinnvoll ist!

05



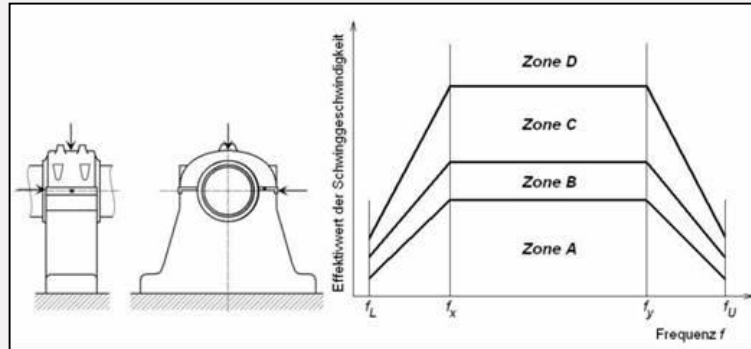
- Schwingungsbeurteilung auf Basis von VDI 3834



SCHWINGUNGSBEURTEILUNG - ENTWICKLUNG DER NORMEN

VDI 2056:1964* (zurückgezogen 1997)
Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von
Maschinen

Lager-
schwingungen

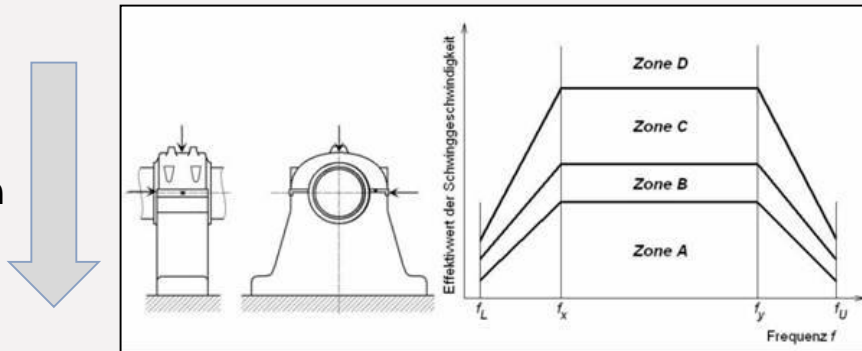


DIN ISO 10816-1:1997 (zurückgezogen 2017)
Mechanische Schwingungen - Bewertung der Schwingungen von
Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen - Teil 1:
Allgemeine Anleitungen (ISO 10816-1:1995*)

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG - ENTWICKLUNG DER NORMEN

VDI 2056:1964* (zurückgezogen 1997)
Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von Maschinen

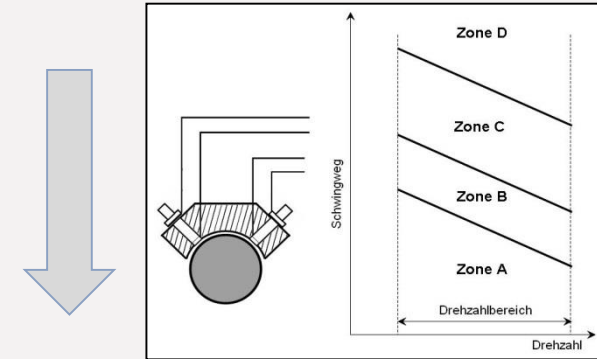
Lager-
schwingungen



DIN ISO 10816-1:1997 (zurückgezogen 2017)
Mechanische Schwingungen - Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen - Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 10816-1:1995*)

VDI 2059-1:1981* (zurückgezogen 2008)
Wellenschwingungen von Turbosätzen
Blatt 1 bis 5 entstanden zwischen 1981 bis 1990

Wellen-
schwingungen

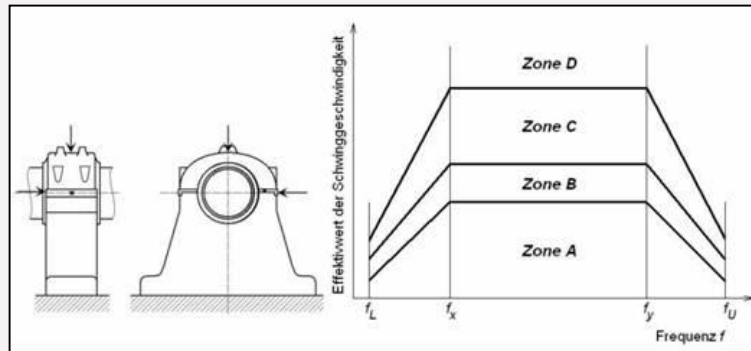


DIN ISO 7919-1:1997 (zurückgezogen 2017)
Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen - Messung und Bewertung von Wellenschwingungen - Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 7919-1:1986*)

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG - ENTWICKLUNG DER NORMEN

VDI 2056:1964* (zurückgezogen 1997)
 Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von Maschinen

**Lager-
 schwingungen**



DIN ISO 10816-1:1997 (zurückgezogen 2017)
 Mechanische Schwingungen - Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen - Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 10816-1:1995*)

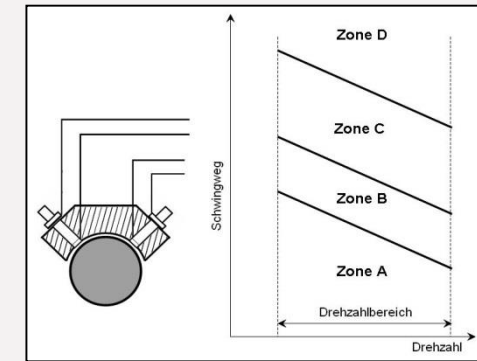
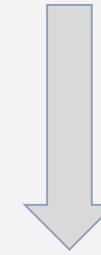


DIN ISO 20816-1:2017
 Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 20816-1:2016*)

abgelöst durch

VDI 2059-1:1981* (zurückgezogen 2008)
 Wellenschwingungen von Turbosätzen
 Blatt 1 bis 5 entstanden zwischen 1981 bis 1990

**Wellen-
 schwingungen**



DIN ISO 7919-1:1997 (zurückgezogen 2017)
 Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen - Messung und Bewertung von Wellenschwingungen - Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 7919-1:1986*)



- ISO 20816-2:2017** Stat. Gas- und Dampfturbinen über 40 MW
- ISO 10816-3:2009** Industrielle Maschinen
- ISO 20816-4:2018** Gasturbinen über 3 MW
- ISO 20816-5:2018** Hydraulische Turbinen
- ISO 10816-6:1995** Hubkolbenmaschinen
- ISO 10816-7:2009** Kreiselpumpen
- ISO 20816-8: 2018** Hubkolbenkompressoren
- ISO 20816-9: 2019 (E)** Getriebe

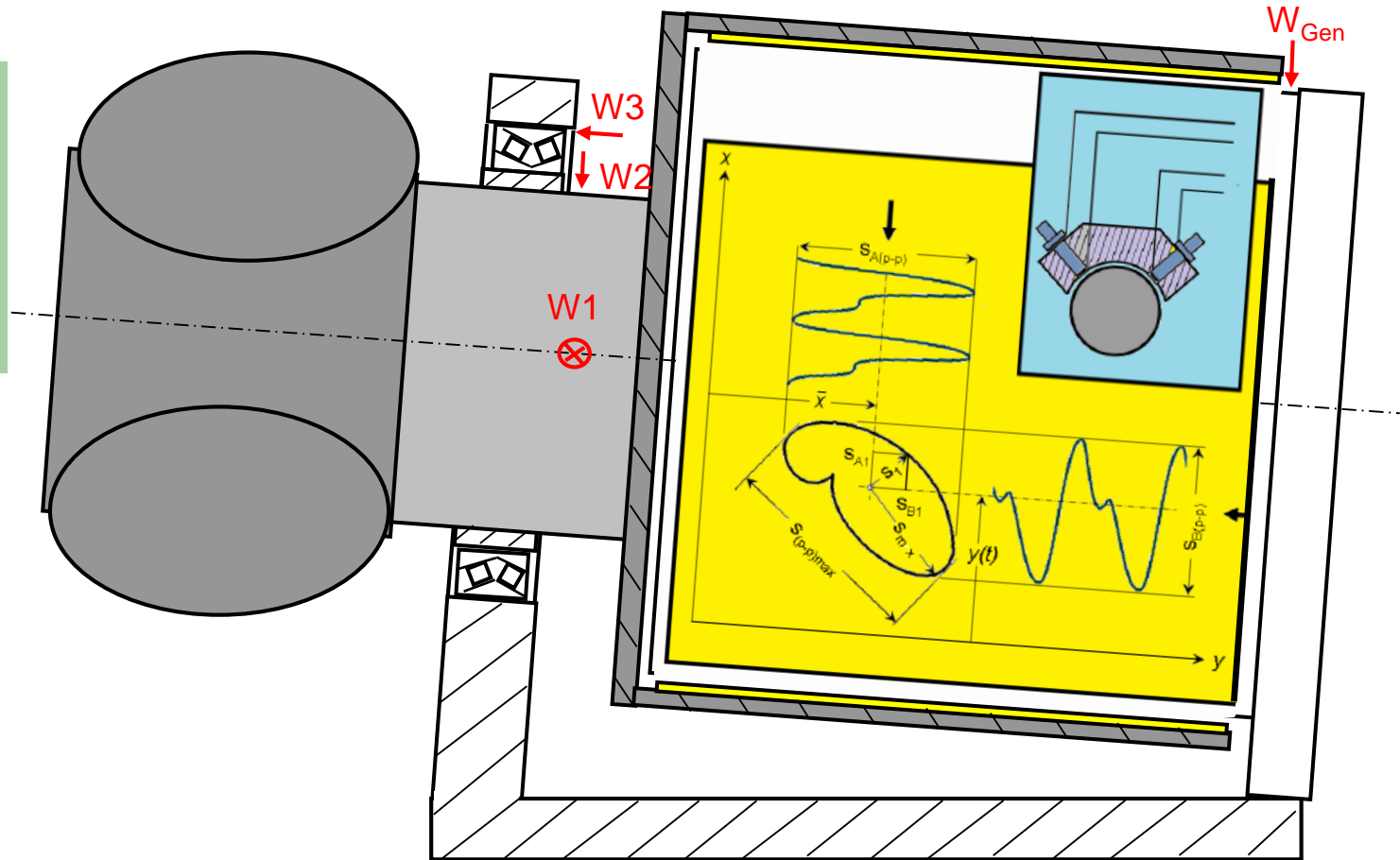
ISO 10816-21:2015 Windenergieanlagen

WELLENSCHWINGUNGSMESSUNG AUCH BEI WINDENERGIEANLAGEN ANWENDBAR

Mögliche Anwendung der Wellenschwingungsmessung bei Großwälzlagern und bei großen Generatoren (Luftspaltmessung) zur Schwingungsbeurteilung und Zustandsüberwachung



Allianz Zentrum fuer Technik



SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

Schwingungen von Windenergieanlagen

VDI 3834 - Blatt 1
 Messung und Beurteilung der mechanische Schwingungen von Windenergieanlagen und deren Komponenten – Wind-energieanlagen mit Getrieben



DIN ISO 10816-21
 Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen – Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe

VDI 3834 Blatt 1: Windenergieanlagen mit Getriebe
 → DIN ISO 10816-21

VDI 3834 Blatt 2: Windenergieanlagen ohne Getriebe (direkt-angetriebener Generator)
 → kurz vor der Fertigstellung

[Link zur VDI 3834 Blatt 1](#)

ICS 17.160, 27.180		VDI-RICHTLINIEN		August 2015
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Messung und Beurteilung der mechanischen Schwingungen von Windenergieanlagen und deren Komponenten Windenergieanlagen mit Getriebe Measurement and evaluation of the mechanical vibration of wind turbines and their components Wind turbines with gearbox	VDI 3834 Blatt 1 / Part 1 Ausg. deutsch/englisch Issue German/English		
Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.		The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.		
Inhalt	Seite	Contents	Page	
Vorbemerkung.....	2	Preliminary note.....	2	
Einleitung.....	2	Introduction.....	2	
1 Anwendungsbereich.....	5	1 Scope.....	5	
2 Grundlagen.....	7	2 Basic principles.....	7	
2.1 Mess- und Kenngrößen.....	7	2.1 Measured and characteristic quantities.....	7	
2.2 Mittelungsverfahren und Beurteilungsgrößen bei WEA.....	7	2.2 Averaging methods and evaluation quantities with WTs.....	7	
2.3 Beurteilungsdauer.....	8	2.3 Evaluation period.....	8	

Frühere Ausgaben: 03/09; 09/14 Entwurf, deutsch
 Former editions: 03/09; 09/14 Draft, in German only
 is reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2015

MITARBEITER IM RICHTLINIENAUSSCHUSS VDI-GPP FA623 "WINDENERGIE"

Foto zeigt nur einen Teil der Mitarbeiter (Stand 2017)

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

Besonderheit der Schwingungsbeurteilung von Windenergieanlagen:

- Sehr dynamisches Betriebsverhalten
- Zusammenwirken der vom Maschinensatz selbst erzeugten Schwingungen und der von außen einwirkenden Schwingungen (Schwingungsemission und –immission)



SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

Besonderheit der Schwingungsbeurteilung von Windenergieanlagen:

- Sehr dynamisches Betriebsverhalten
- Zusammenwirken der vom Maschinensatz selbst erzeugten Schwingungen und der von außen einwirkenden Schwingungen (Schwingungsemission und –immission)

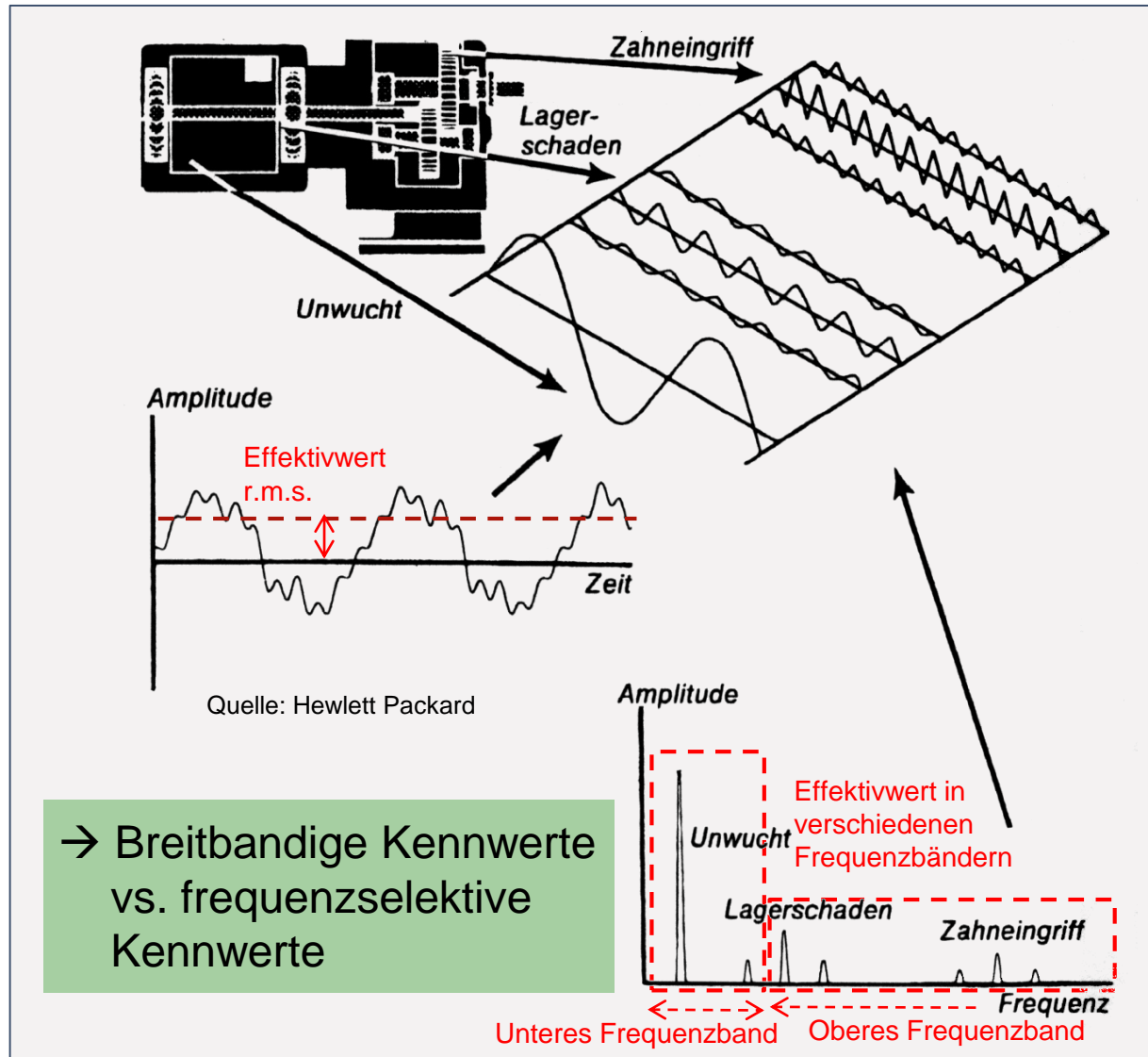


→ VDI 3834 definiert spezielle Beurteilungsgrößen:

- Breitbandige Messung der Schwingbeschleunigung und Schwinggeschwindigkeit
- Bildung der Kenngrößen in spezifizierten Frequenzbereichen:
0,1 Hz bis 10 Hz, 10 Hz bis 1.000 Hz, 10 Hz bis 2.000 und 10 Hz bis 5.000 Hz
- “Energieäquivalente Mittelung¹“ der bandpassgefilterten Schwingung über einer definierten Beurteilungsdauer
- Beurteilungsdauer für den Frequenzbereich 0,1 Hz bis 10 Hz: 10 Minuten

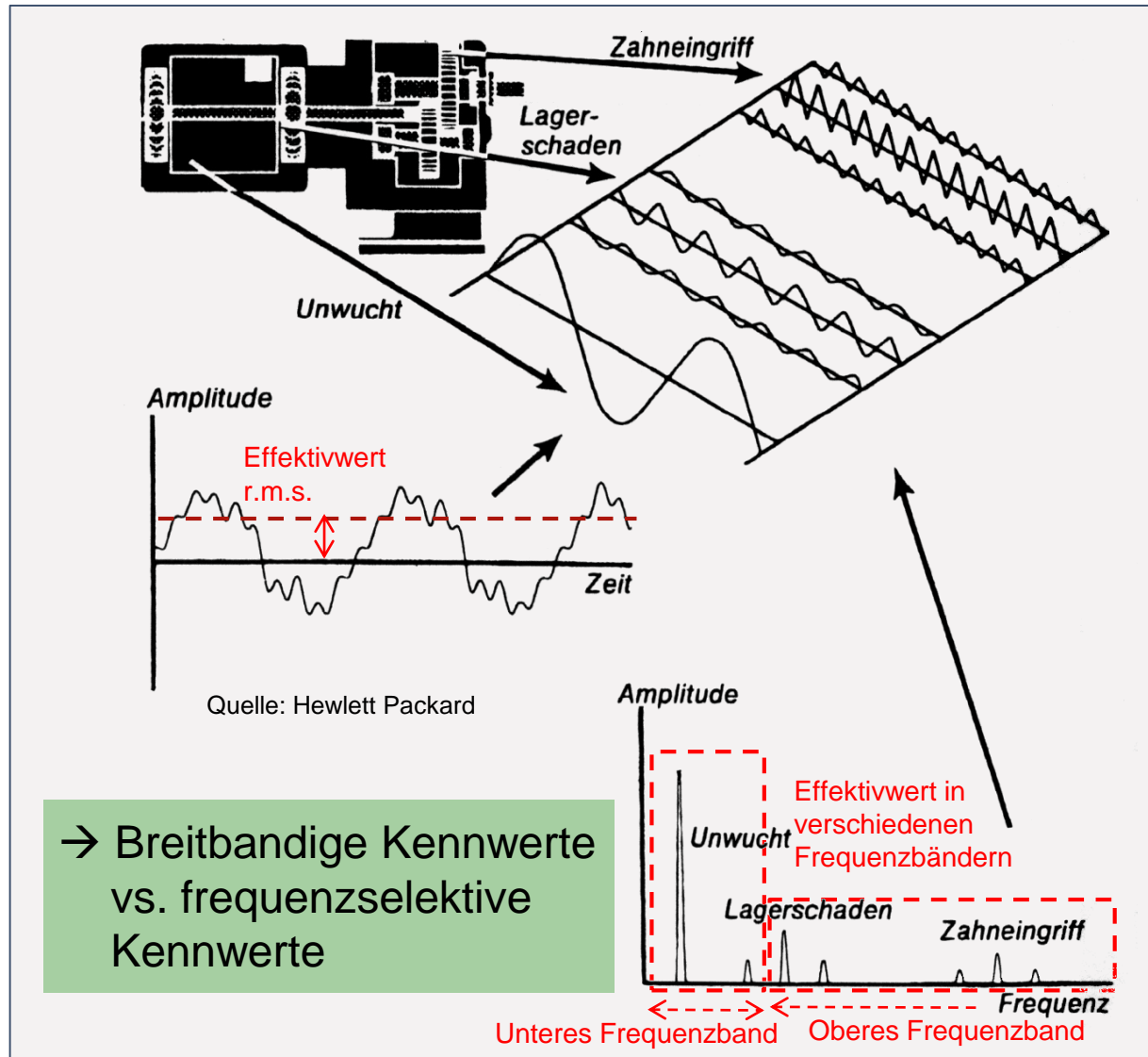
¹): Das Mittelungsverfahren entspricht dem in DIN 45662 beschriebenen Intervall-Effektivwert, wenn für das Zeitintervall T die Beurteilungsdauer T_0 eingesetzt wird.

UNTERSCHIED BREITBANDIGE VS. FREQUENZSELEKTIVE KENNWERTE

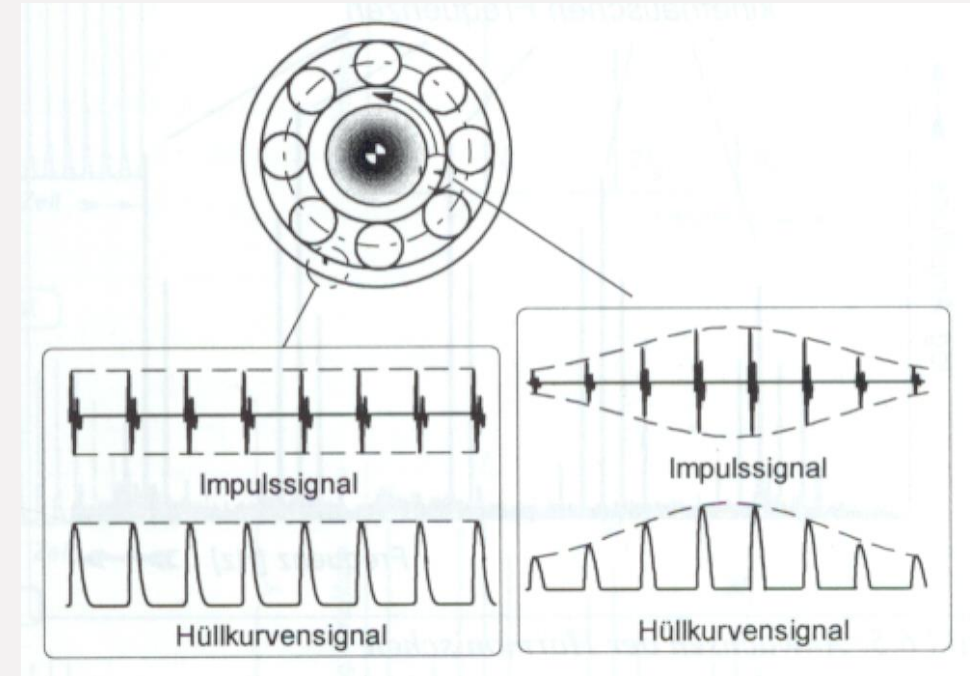


→ Breitbandige Kennwerte vs. frequenzselektive Kennwerte

UNTERSCHIED BREITBANDIGE VS. FREQUENZSELEKTIVE KENNWERTE



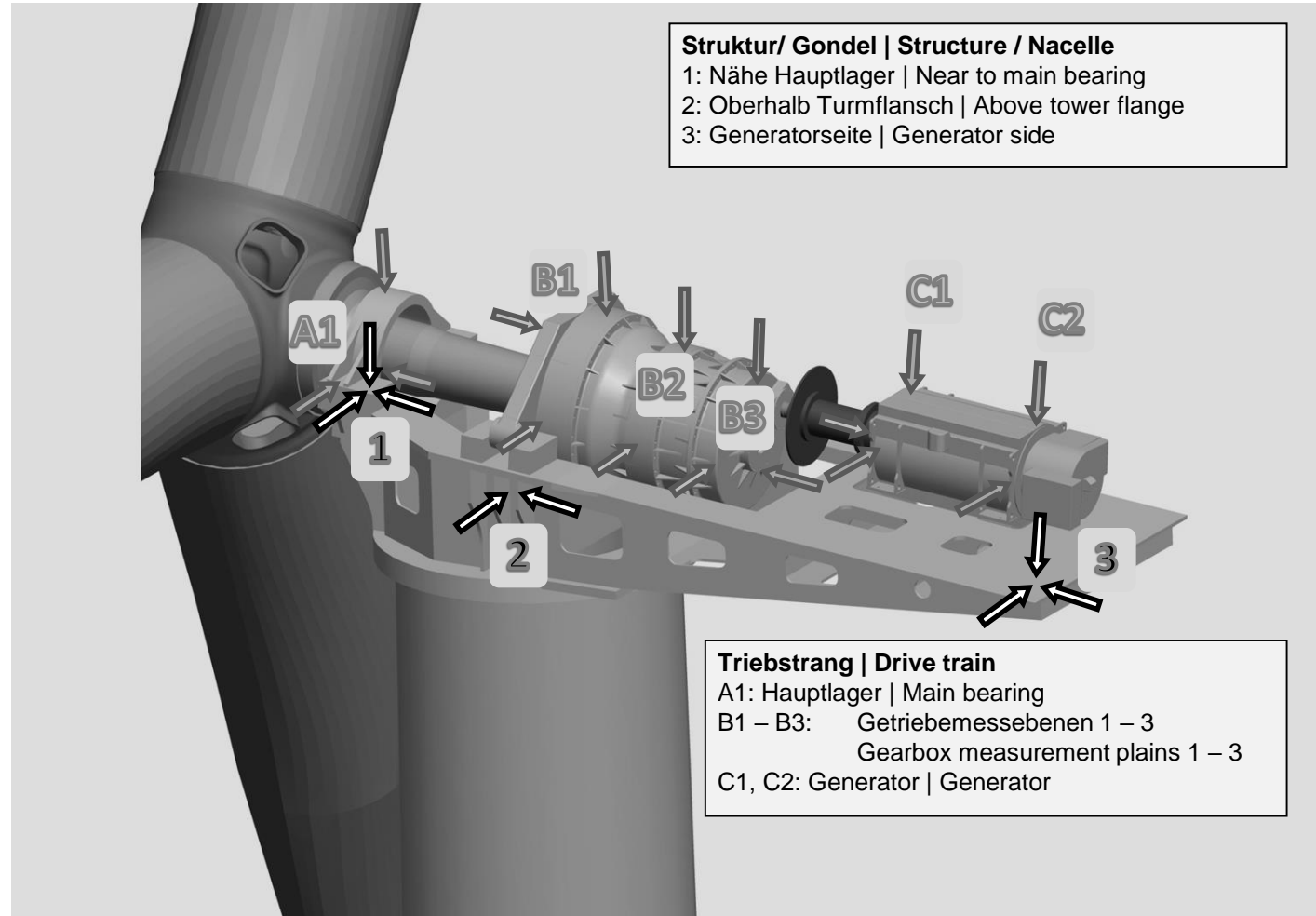
Wälzlagerdiagnose mittels Hüllkurvenanalyse



Quelle: Ulrich Klein, Schwingungsdiagnostische Beurteilung von Maschinen und Anlagen

→ Klassisches CMS-Anwendungsgebiet

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

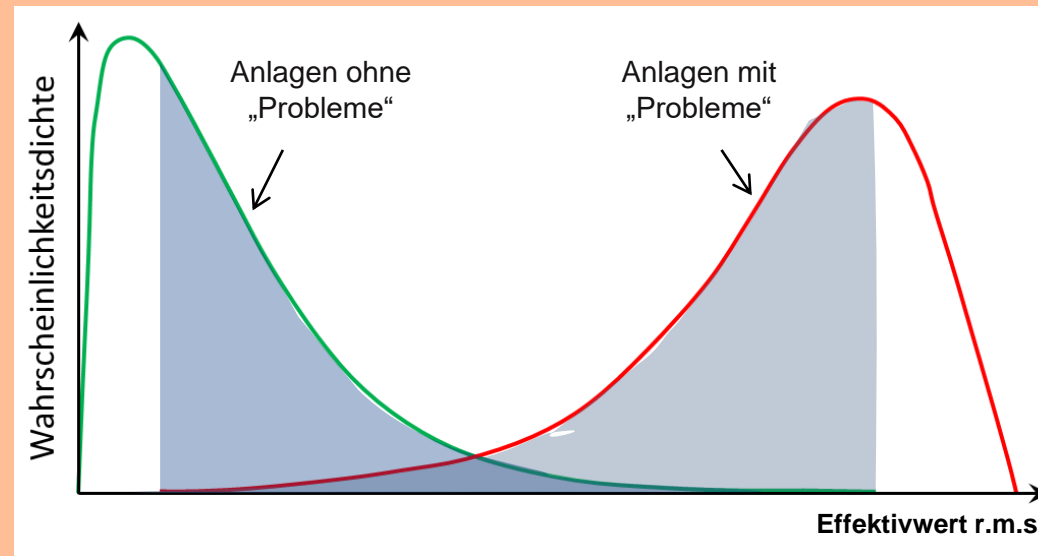


Typische Messorte nach VDI 3834 Blatt1

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

Bewertungszonen in VDI 3834

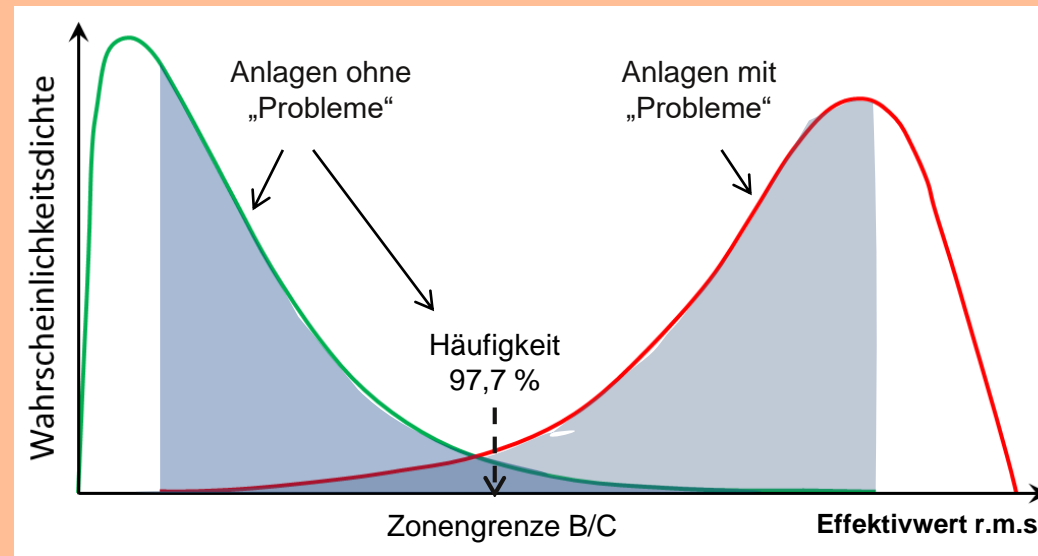
- Zur Festlegung der Zonengrenzen wurden Schwingungen von mehr als 1.000 Windenergieanlagen ausgewertet



SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

Bewertungszonen in VDI 3834

- Zur Festlegung der Zonengrenzen wurden Schwingungen von mehr als 1.000 Windenergieanlagen ausgewertet



Zone B
Für Dauerbetrieb
geeignet

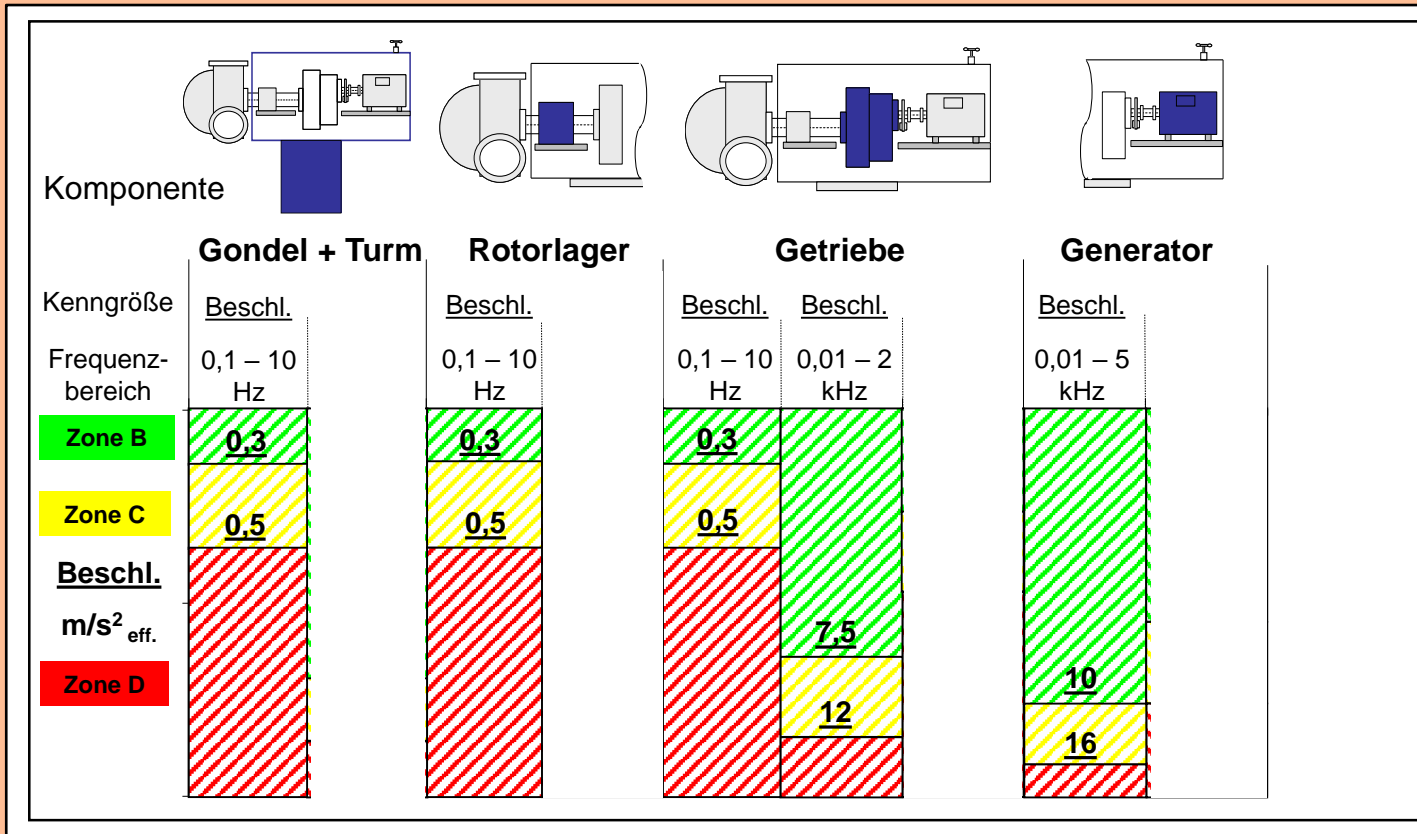
Zone C
Üblicherweise für
Dauerbetrieb
nicht geeignet,
→ Ursache der
Schwingungen
untersuchen

Zone D
Schäden können
entstehen →
umgehende
Ursachenanalyse

Orientierung der Zonengrenze B/C an Schwellwert mit 97,7% Summenhäufigkeit der Anlagen ohne "Schwingungsprobleme"

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

→ BEWERTUNGSZONEN



Zone B
Für Dauerbetrieb geeignet

Zone C
Üblicherweise für Dauerbetrieb nicht geeignet, → Ursache der Schwingungen untersuchen

Zone D
Schäden können entstehen → umgehende Ursachenanalyse

Grenzen der Bewertungszonen in $m/s^2_{eff.}$ bzw. $mm/s_{eff.}$ nach VDI 3834 Blatt1

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834

→ BEWERTUNGSZONEN

Komponente	Gondel + Turm		Rotorlager		Getriebe			Generator	
	Beschl.	Geschw.	Beschl.	Geschw.	Beschl.	Beschl.	Geschw.	Beschl.	Geschw.
Frequenzbereich	0,1 – 10 Hz	0,1 – 10 Hz	0,1 – 10 Hz	0,01 – 1 kHz	0,1 – 10 Hz	0,01 – 2 kHz	0,01 – 1 kHz	0,01 – 5 kHz	0,01 – 1 kHz
Zone B	<u>0,3</u>		<u>0,3</u>	<u>2</u>	<u>0,3</u>				
Zone C	<u>0,5</u>		<u>0,5</u>	<u>3,2</u>	<u>0,5</u>		<u>3,5</u>		
Beschl.							<u>5,6</u>		
m/s²_{eff.}						<u>7,5</u>			<u>6</u>
Zone D		<u>60</u>				<u>12</u>		<u>10</u>	<u>10</u>
		<u>100</u>						<u>16</u>	

Zone B
Für Dauerbetrieb geeignet

Zone C
Üblicherweise für Dauerbetrieb nicht geeignet, → Ursache der Schwingungen untersuchen

Zone D
Schäden können entstehen → umgehende Ursachenanalyse

Grenzen der Bewertungszonen in $m/s^2_{eff.}$ bzw. $mm/s_{eff.}$ nach VDI 3834 Blatt1

SCHWINGUNGSBEURTEILUNG NACH VDI 3834 – BEWERTUNGSZONEN

→ NUTZUNG ZUR SCHWINGUNGSÜBERWACHUNG

Richtlinie enthält Hinweise zur Festlegung individueller Grenzwerte für die Überwachung

- Basis bilden gemessene Referenzwerte (Basiswerte) plus einem Aufschlag

WARNUNG = Basiswert + 25 % der Zonengrenze B/C

ALARM = Alarmwert < 1,25 * Zonengrenze C/D

- Grenzwerte können je nach Überwachungsstrategie und Erfahrungen auch abhängig von Betriebsparametern definiert werden

Überwachung mit VDI Kenngrößen ermöglicht:

- Standardisierte Überwachung und Bewertung
- Visualisierung der Kenngrößen mit Grenzwerten im SCADA System
- Gegebenenfalls, Verwendung als Eingangsgröße in der Steuerung bzw. SCADA, insbesondere bei schnell voranschreitenden Fehlern

06 BEISPIELE

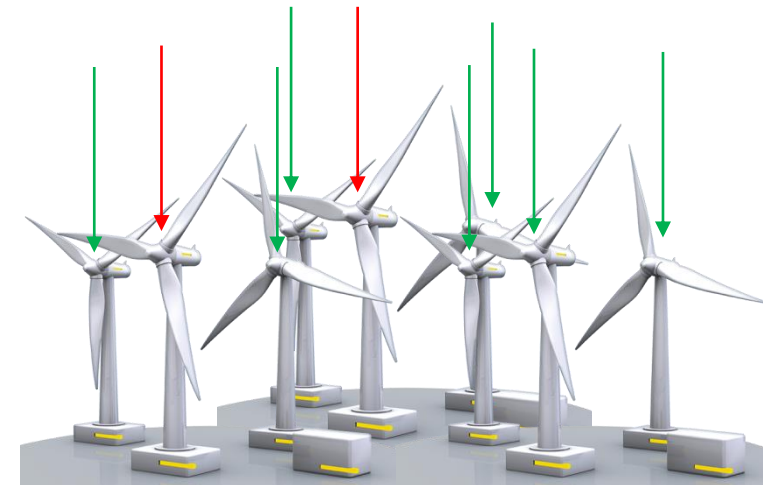
- Erfahrungen aus der Überwachung großer Anlagenpopulationen



ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN

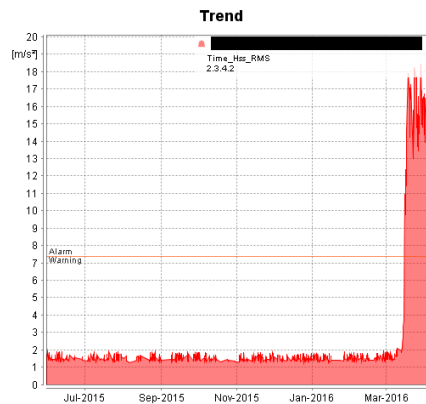
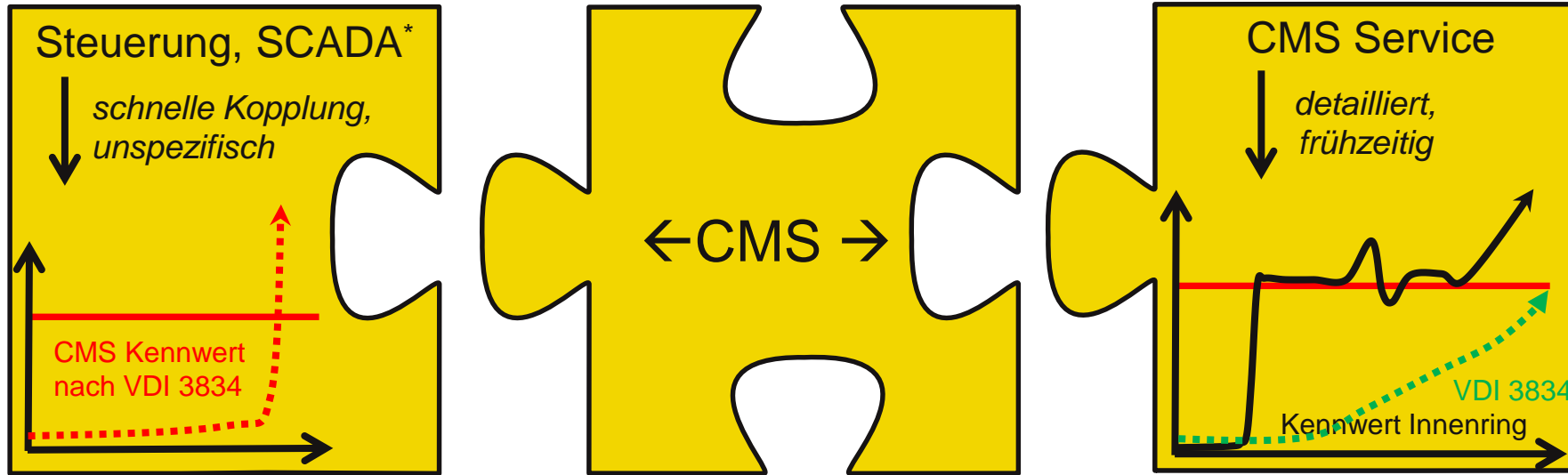
→ Ziel der Integration in die Anlagenüberwachung

1. Erkennen ungünstiger Betriebszustände einer WEA
2. Bewertung und Vergleichbarkeit des Schwingungsverhaltens zwischen WEA auf Basis der standardisierten Kenngrößen und Bewertungszonen
3. Nutzung der Schwingungsinformation für die Betriebsführung und Anlagenoptimierung

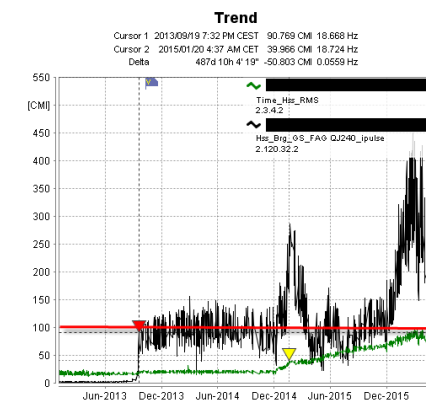


Veröffentlichung AZT + Bachmann „Schwingsbeurteilung nach VDI 3834-1 bzw. DIN ISO 10816-21 und deren Integration in die Überwachung großer Anlagenpopulationen“, VDI-Berichte 2281 und “Use of VDI 3834 & ISO 10816-21 for vibration monitoring of large wind turbine fleets”, VGB PowerTech 07/2017

ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN



VDI Kenngrößen unterstützen den Bewertungsprozess



*) Supervisory Control And Data Acquisition (Übergeordnete Steuerung und Datenerfassung)

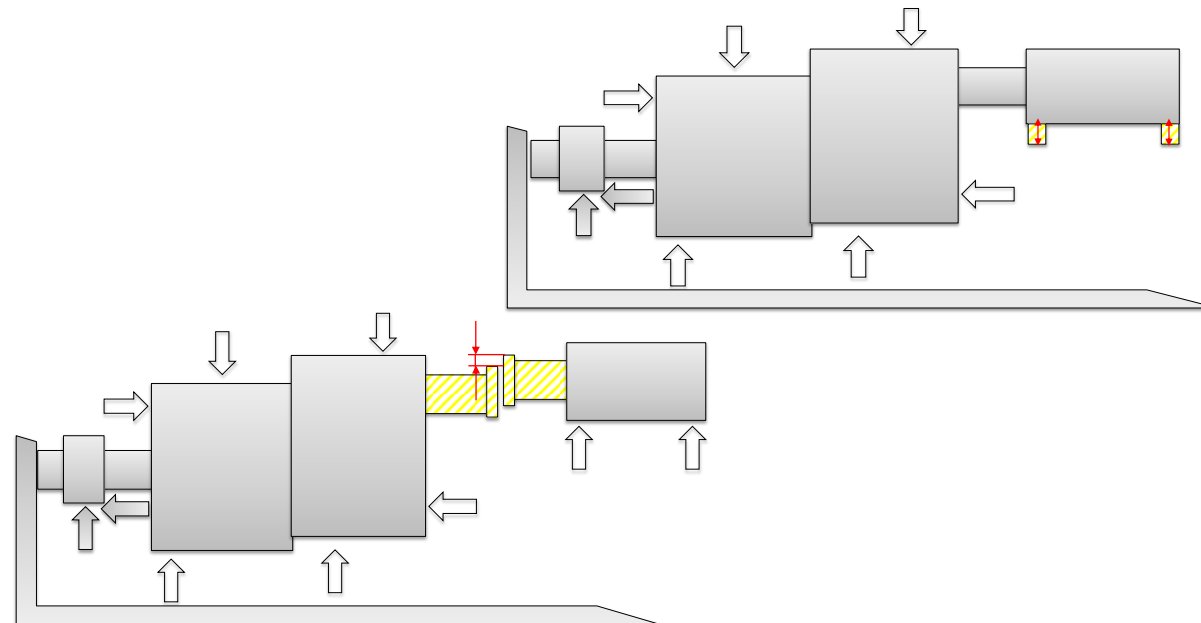
ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN

→ Detektierbare Fehler

- VDI Kenngrößen entsprechen dem RMS (Effektivwert) und repräsentieren den Energieinhalt eines Signals
- Somit sind Maschinenfehler detektierbar, welche einen hohen Beitrag zum Effektivwert liefern

Beispiele:

- Aufstellungs-, Montagefehler
- Ausrichtungsfehler
- Fortgeschrittene Schäden

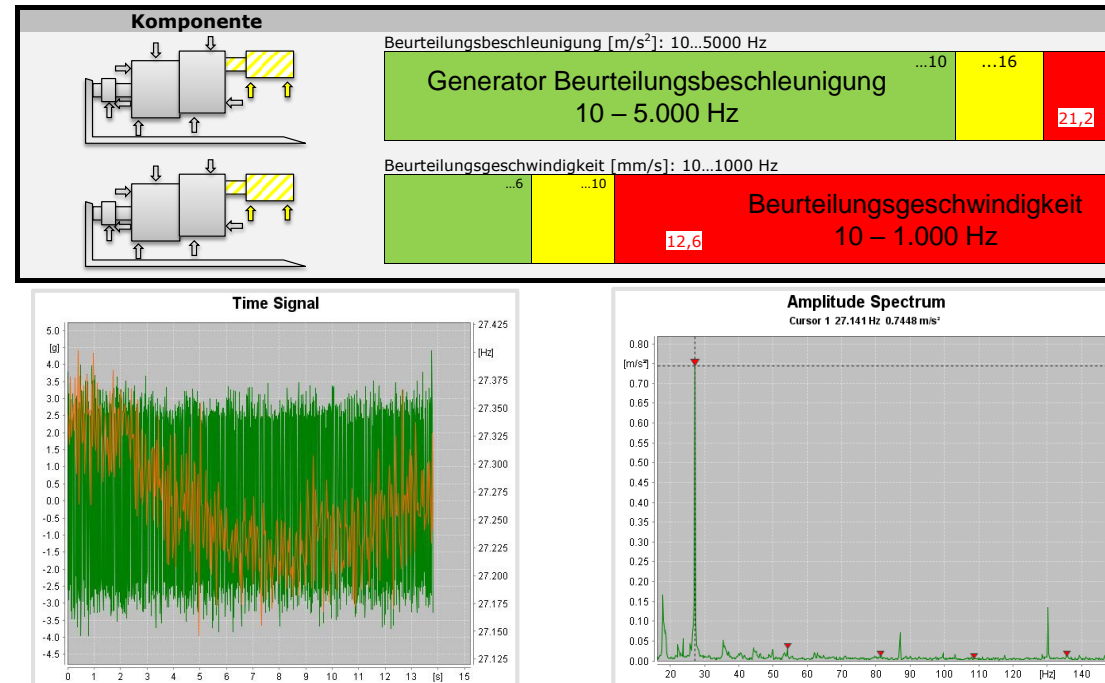


ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN

→ Detektierbare Fehler – Beispiel 1 Generator

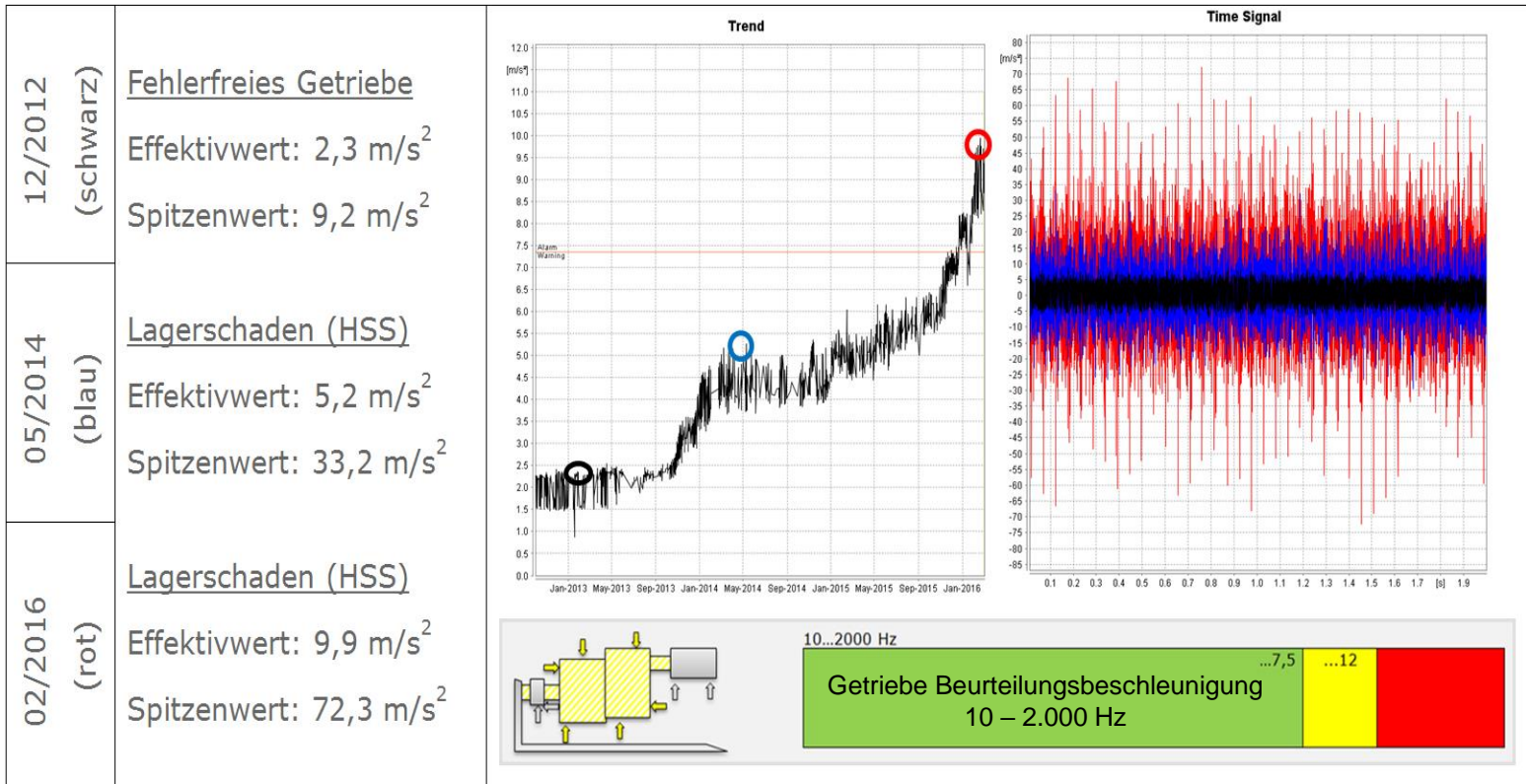
Beispiel: VDI-Kenngrößen am Generator DE

- Beide Beurteilungsgrößen liegen in der Zone D
- Amplitudenspektrum: hohe Amplitude bei Drehfrequenz → mechanisches Spiel
- Montage,- Aufstellungsfehler → ggf. Generatorfüße verschlissen



ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN

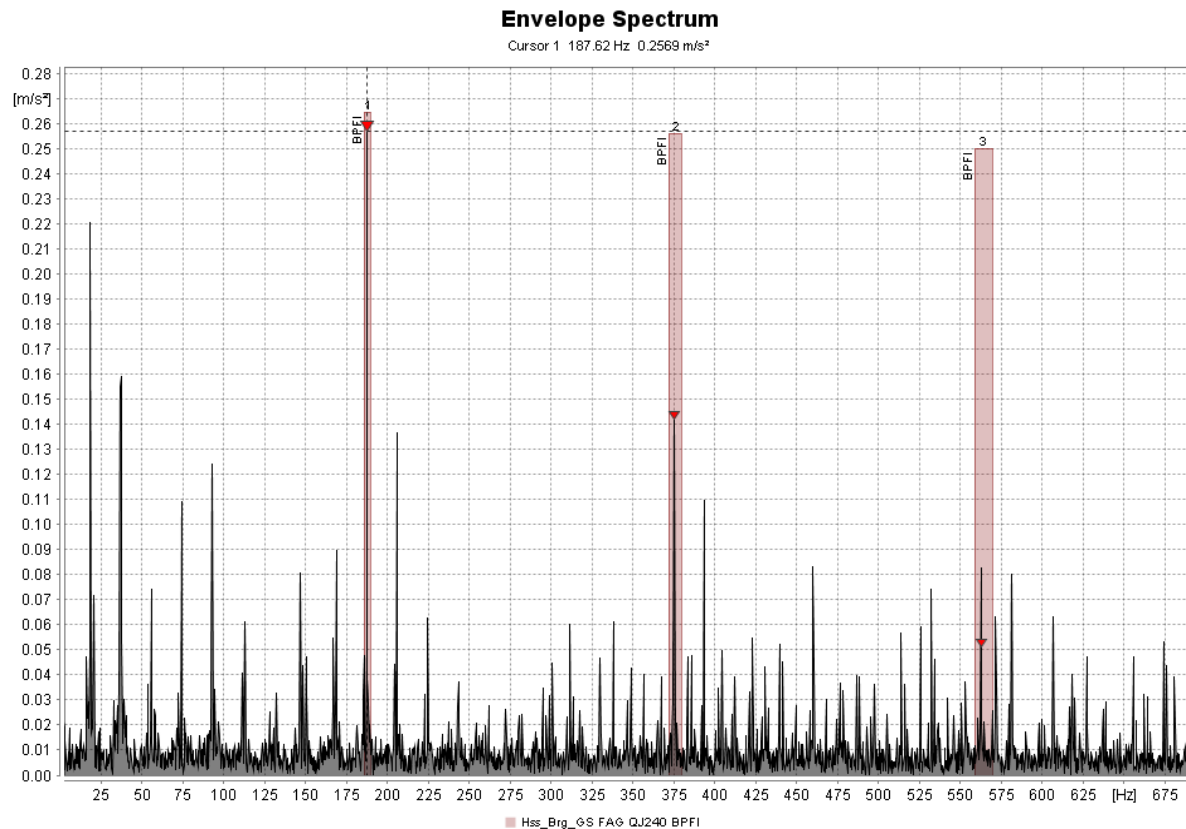
→ Detektierbare Fehler – Beispiel 2 Getriebe



Änderung des Effektivwerts am Getriebe über Zeitraum von 3 Jahren

ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN

→ Detektierbare Fehler – Beispiel 2 Getriebe



Zustandsüberwachung
mittels CMS:

Frühere Detektion von
energiearmen Fehlern
und Schäden

Hüllkurvenspektrum, Fehler am Innenring ist deutlich sichtbar

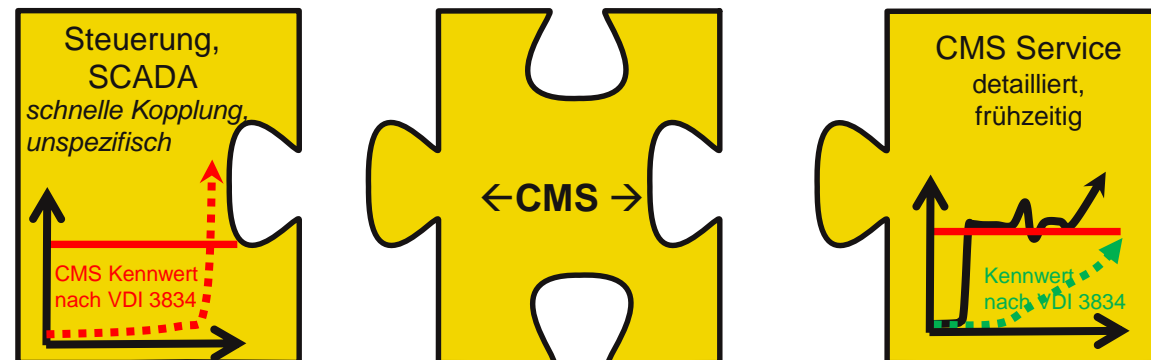
ÜBERWACHUNG GROßER ANLAGENPOPULATIONEN

→ Fazit

Trotz der bestehenden Grenzen in der Früherkennung von energiearmen Fehlern ist die Schwingungsbeurteilung nach VDI 3834 ein starkes Werkzeug zur effizienten Überwachung großer Anlagenpopulationen.

Vorteile der Nutzung

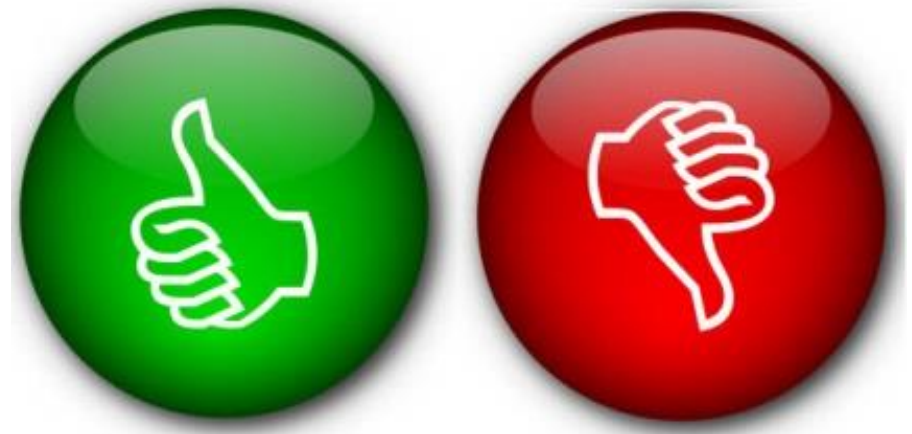
- Mögliche schnelle Rückkopplung in die Steuerung (Absicherung des Anlagenbetriebes)
- Einfache Einbindung zusätzlicher aussagekräftiger Kenngrößen in ein vorhandenes Leitstandssystem/ SCADA
- Kombination von Schwingungsbeurteilung und Zustandsbewertung in einem CMS



07

ZUSAMMENFASSUNG

Brauchen Windturbinen
Schwingungsüberwachung
und Condition Monitoring?



07

ZUSAMMENFASSUNG

Brauchen Windturbinen
Schwingungsüberwachung
und Condition Monitoring?

→ Ja, technisch sehr
sinnvoll!



ZUSAMMENFASSUNG

1. Mittels gezielter Schwingungsüberwachung auf Basis breitbandiger Effektivwerte der VDI 3834 lassen sich Betriebszustände erkennen, die Schwingungen mit hohem Energiegehalt verursachen
Ziel → Vermeidung ungünstiger Betriebszustände
2. Durch Vergleich des Schwingungsverhaltens innerhalb einer Anlagenflotte lassen sich Anlagen mit erhöhten Schwingungsniveau identifizieren
Ziel → Unterstützung der Anlagenoptimierung + Fehlerbeseitigung (Lebensdauer)
3. Die Kennwerte lassen sich mit jedem CMS bilden und überwachen (vorausgesetzt Hersteller bieten Konfiguration an)
Ziel → Kombination von Schwingungsbeurteilung und Zustandsbewertung in einem CMS
4. Die Kennwerte ermöglichen die Beurteilung von relativen Schwingungsänderungen (Trends) und der absoluten Amplituden im Vergleich zu Zonengrenzen der VDI 3834
Ziel → Unterstützung der Zustandsbeurteilung mit CMS
5. Die begrenzte Anzahl der Kenngrößen ermöglicht die Weiterverarbeitung und Nutzung in der Anlagensteuerung und im SCADA
Ziel → Integration mechanischer Beurteilungsparameter in die Fernüberwachung

ABSCHLIEßEND EINE MEINUNGSUMFRAGE (1)

Ja = A, Nein = B, Neutral = C



→ Anlagensicherheit

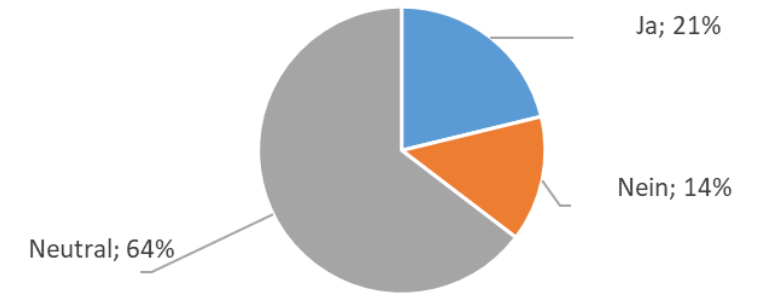
Sicherheitssystem
Schutzüberwachung
der Turmschwingungen



→ Komponentenzustand/
Instandhaltung

Condition Monitoring System
CMS + SHM*

Werden in Ihrem Umfeld CMS bei großen Windenergieanlagen (Onshore) als Standard verwendet?



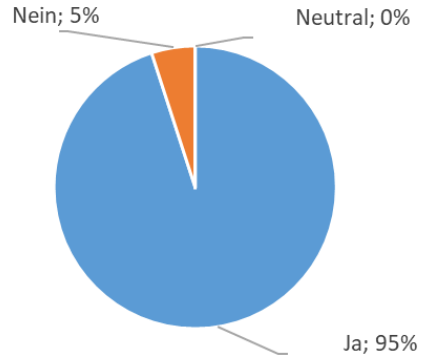
→ Zuverlässiger Betrieb/
Lebensdauer

Standardisierte
Schwingungsüberwachung
VDI 3834

Werden in Ihrem Umfeld CMS bei großen Windenergieanlagen (Onshore) als Standard verwendet?

ABSCHLIEßEND EINE MEINUNGSUMFRAGE (2)

Halten Sie die möglichen Synergien von CMS und Schwingungsüberwachung für sinnvoll?

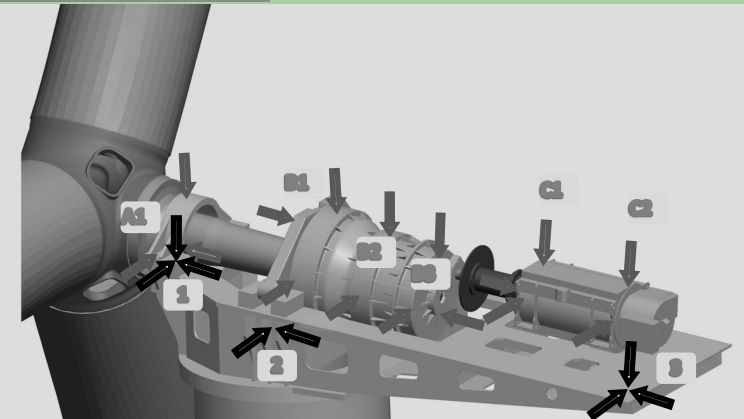


Ja = A, Nein = B, Neutral = C



→ Komponentenzustand/
Instandhaltung

Condition Monitoring System
CMS + SHM*



→ Zuverlässiger Betrieb/
Lebensdauer

Standardisierte
Schwingungsüberwachung
VDI 3834



→ Anlagensicherheit

Sicherheitssystem
Schutzüberwachung
der Turmschwingungen

Halten Sie die möglichen Synergien von CMS und Schwingungsüberwachung für sinnvoll?



Thomas Gellermann

Vorsitzender des VDI/NALS FA623 / C23

CATIV zertifiziert ISO 18436-2

Allianz Risk Consulting GmbH

Allianz Zentrum für Technik

Tel: +49.89.3800 – 6236

Email: thomas.gellermann@allianz.com



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

www.azt.allianz.com



VDI

11. VDI-Fachtagung
Schwingungen von Windenergieanlagen 2020

Die Top-Themen:

- Automatisierte Detektion von Fehlerzuständen
- Optimierung Gesamtertragspotential durch Lastmonitoring im Turm
- Erhöhen der Reliability durch normgerechtes Wellenausrichten
- VDI 4551 Strukturüberwachung und -Beurteilung
- Neue Anforderungen an Triebstrang- und Strukturkomponenten
- Schwingungen während der Einzelblattinstallation

+ Fachausstellung

Tagungsleiter
Dipl.-Ing. Thomas Gellermann,
Leitender Oberingenieur, Allianz
Zentrum für Technik Allianz Risk
Consulting GmbH, München

am 16. und 17.06.2020 in Bremen

[Link zum Programm der Tagung](#)

Bildquelle: © PRÜFTECHNIK Condition Monitoring GmbH