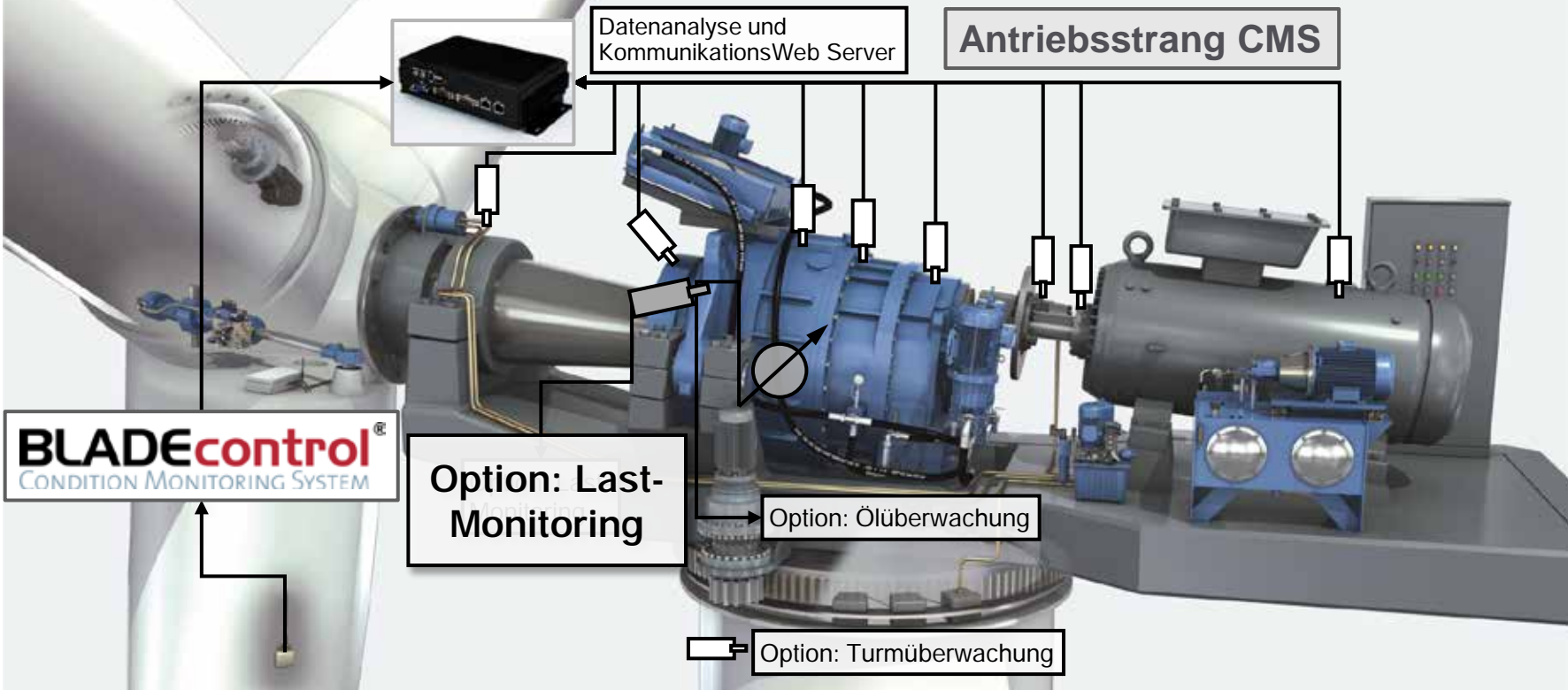


Die Ruhe in der Kraft – Aktive dynamische Dämpfung von Antriebssträngen

Dietmar Tilch
Andreas Vath



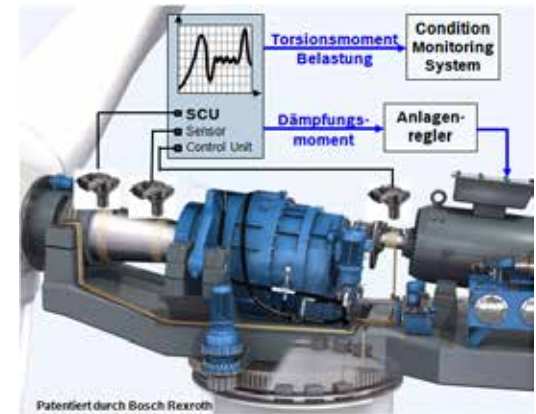
ACoS[®], (Advanced Condition Monitoring System), Systemaufbau



- § Zusammenführung von Antriebstrang- und Rotorblattüberwachung
- § Gesamtheitliches CMS mit durchgängiger Leitstandanbindung
- § Plattformstruktur, offen für die Integration weiterer Systeme oder Sensoren

Inhalt

- Motivation
- Systemstruktur und Funktionsweise des Dynamic Load Monitor (DLM)
- Messergebnisse des Dynamic Load Monitor (DLM) im Feld
- Reduktion der Lasten im Antriebsstrang mit Active Torque Control (ATC)
- Möglichkeiten der Ertragssteigerung
- Zusammenfassung

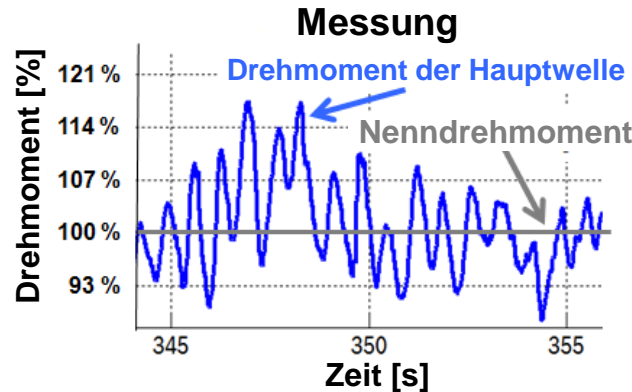


Schwingungen im Antriebsstrang

Windenergieanlage



Verhalten bei Nennmoment



Mögliches Resultat

Keine Möglichkeit es zu erkennen!

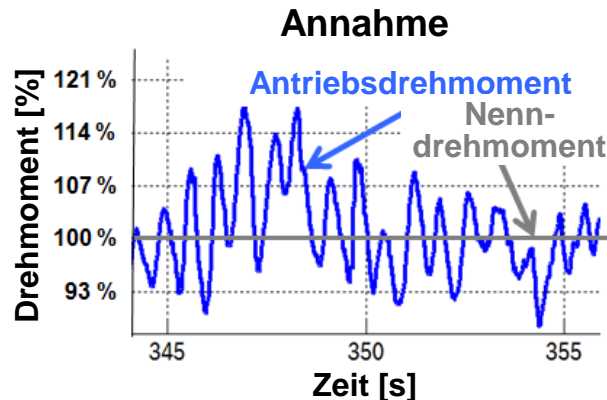
Keine Aktion (bis zum Schaden ???)



PKW



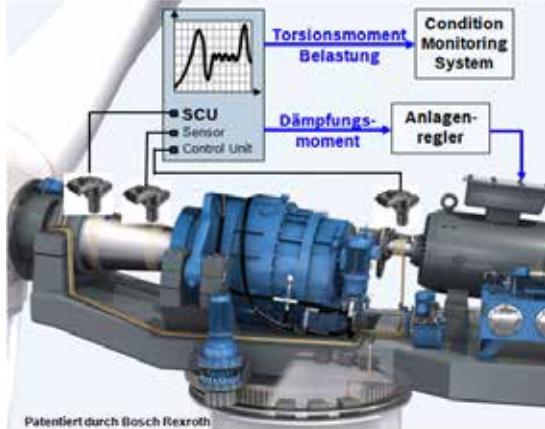
Verhalten bei Nennmoment



Mögliche Aktion

Fahrer erkennt "merkwürdiges" Verhalten und fährt in die Werkstatt, um das Problem beheben zu lassen

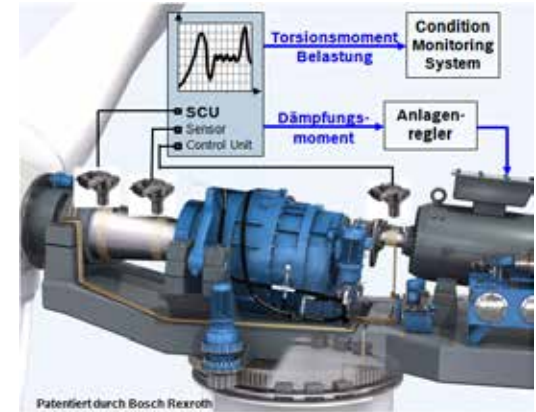
Motivation



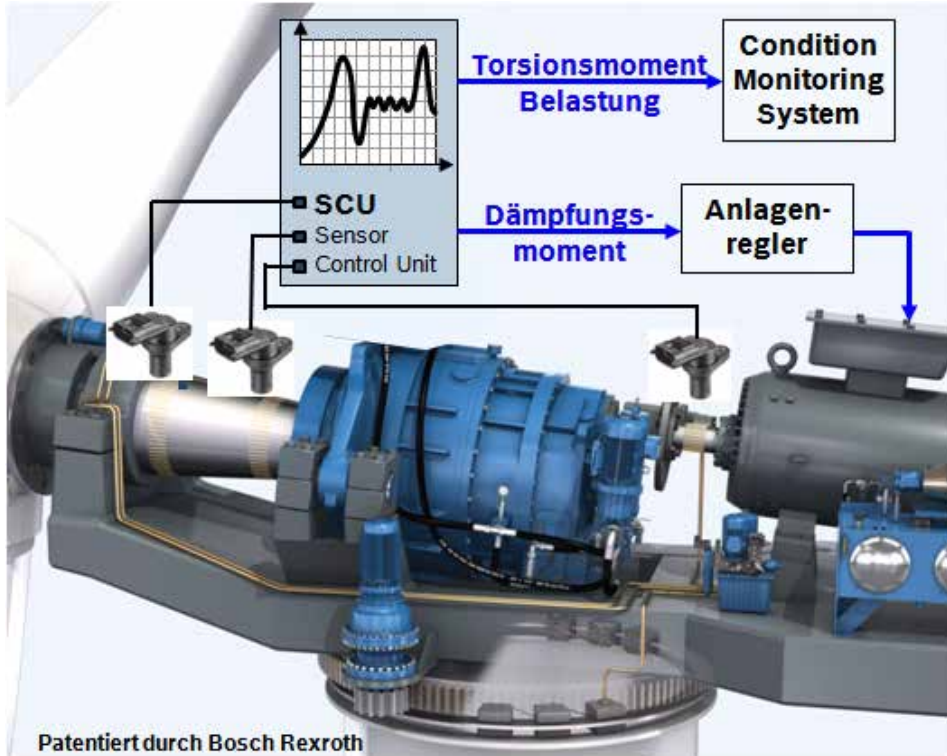
- § Bestimmung der tatsächlich auftretenden Last im Antriebsstrang
- § Einsatz der Drehzahl- und Drehmomentinformationen des DLM-Systems in der Turbinensteuerung zur
 - § Reduzierung von Lasten und Vermeidung von Überlasten
 - § Erhöhung der Nennleistung der Anlage bei Reduzierung der dynamischen Lasten mit Active Torque Control
 - § Steigerung des Energieertrags
 - § Reduzierung der Wartungs- und Instandhaltungskosten durch präventive und zustandsorientierte Wartung
- § Verlängerung der Anlagenlaufzeit über 20 Jahre durch Transparenz der bisher real aufgetretenen Lasten
- § Erkennung von Massenunwuchten und aerodynamischen Unwuchten am Rotor

Inhalt

- Motivation
- Systemstruktur und Funktionsweise des Dynamic Load Monitor (DLM)
- Messergebnisse des Dynamic Load Monitor (DLM) im Feld
- Reduktion der Lasten im Antriebsstrang mit Active Torque Control (ATC)
- Möglichkeiten der Ertragssteigerung
- Zusammenfassung

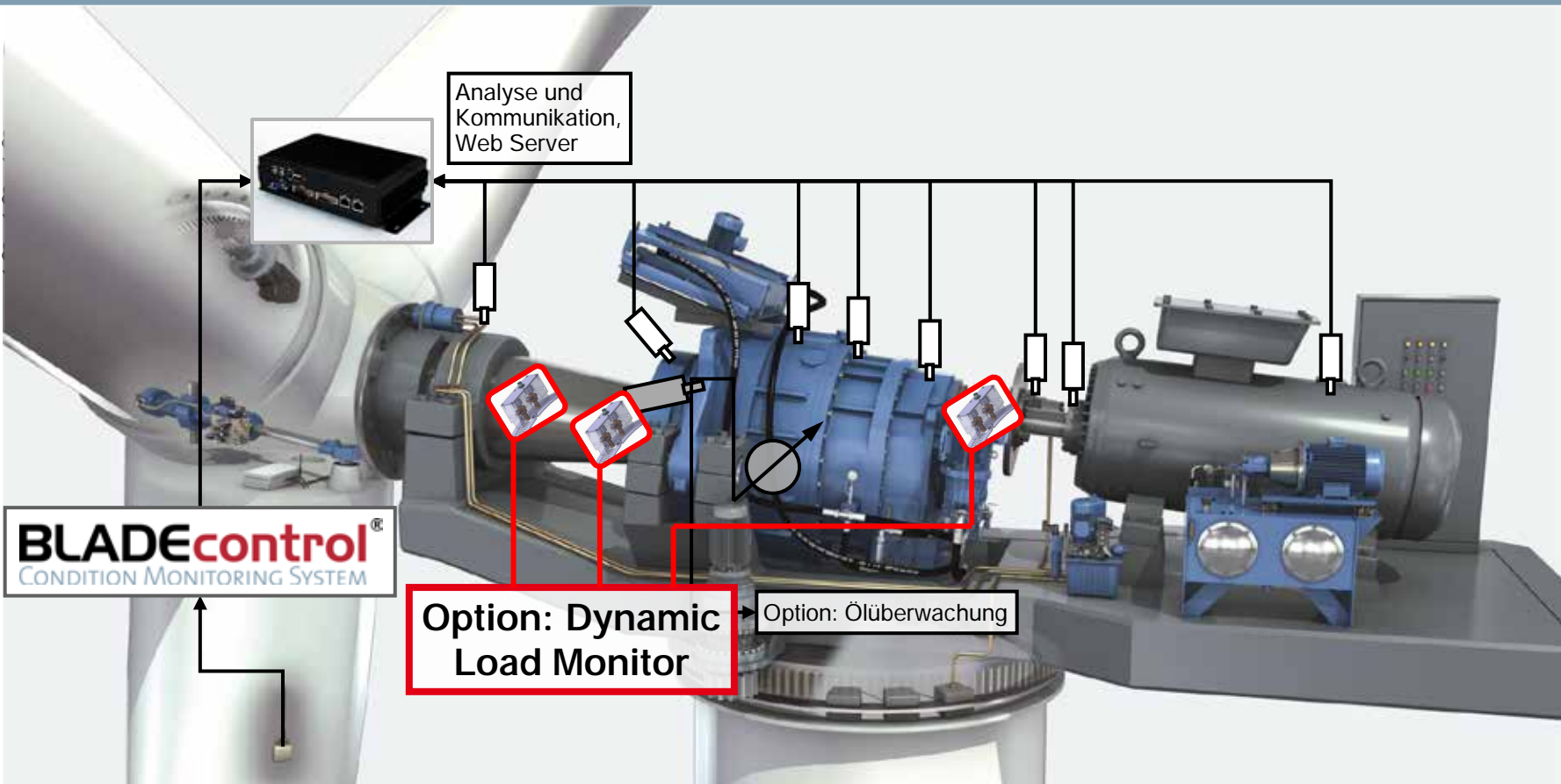


Systemaufbau und Funktionsweise



- § Messpositionen:
 - § 2 Geberstrukturen (Stahlbänder) an der Hauptwelle
 - § 1ne Geberstruktur an der schnell laufenden Welle
 - § oder Verwendung von existierenden Geberstrukturen im Antriebsstrang
- § Verwendung von Standard-Automobilensoren
- § Ermittlung
 - § Drehzahl der Hauptwelle
 - § Drehzahl schnell dreh. Welle
 - § Drehmoment Hauptwelle
 - § Drehmoment Getriebe
 - § Drehposition der Rotorwelle

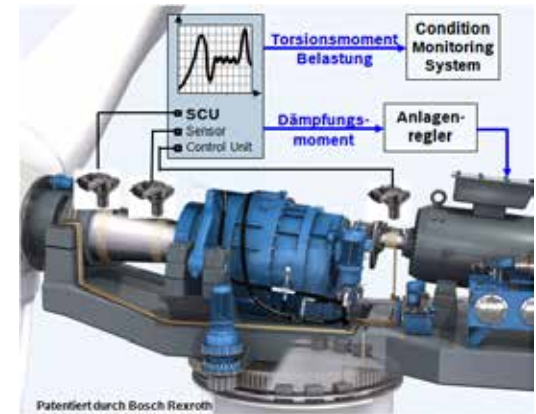
Gesamtheitliches Condition Monitoring für Windenergieanlagen



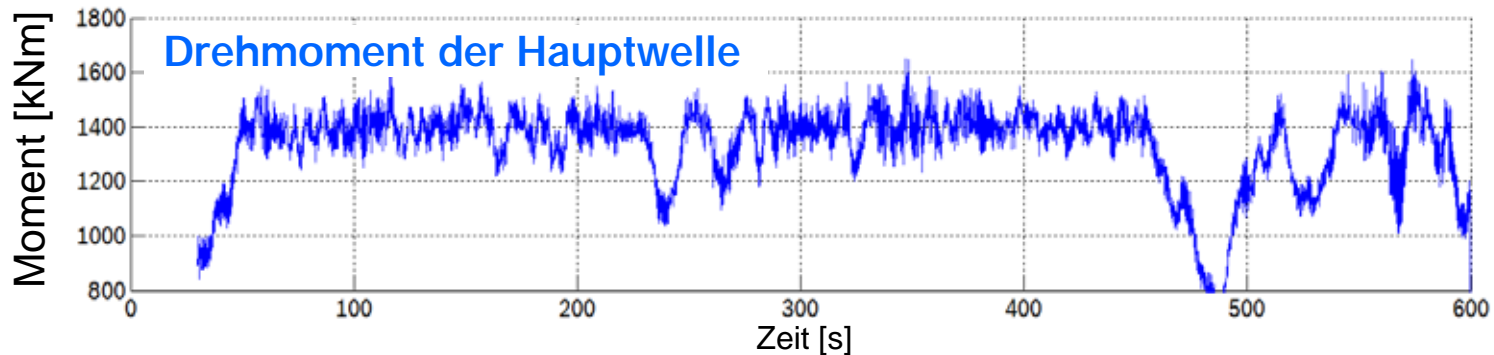
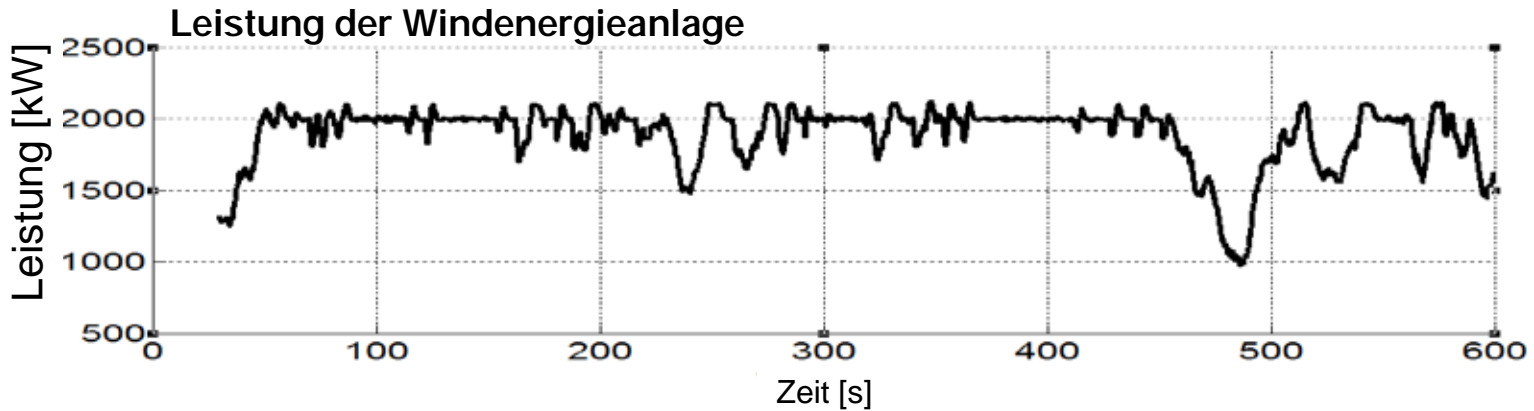
- § Zusammenführung von Antriebstrang- und Rotorblattüberwachung + Lasterfassung
- § Lasterfassung kann einen wesentlichen Beitrag leisten zur Vermeidung von Überlasten und damit auch Schäden → Reduzierung der Wartungs- und Reparaturkosten

Inhalt

- Motivation
- Systemstruktur und Funktionsweise des Dynamic Load Monitor (DLM)
- Messergebnisse des Dynamic Load Monitor (DLM) im Feld
- Reduktion der Lasten im Antriebsstrang mit Active Torque Control (ATC)
- Möglichkeiten der Ertragssteigerung
- Zusammenfassung



Messergebnisse bei Vollast: Leistungsklasse der Anlage 2 MW

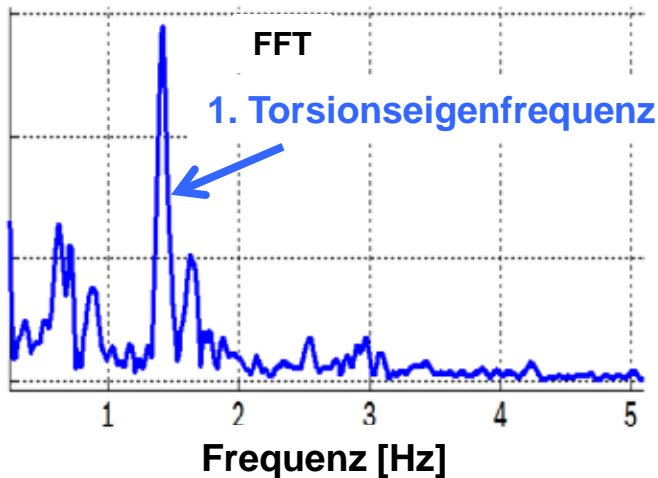
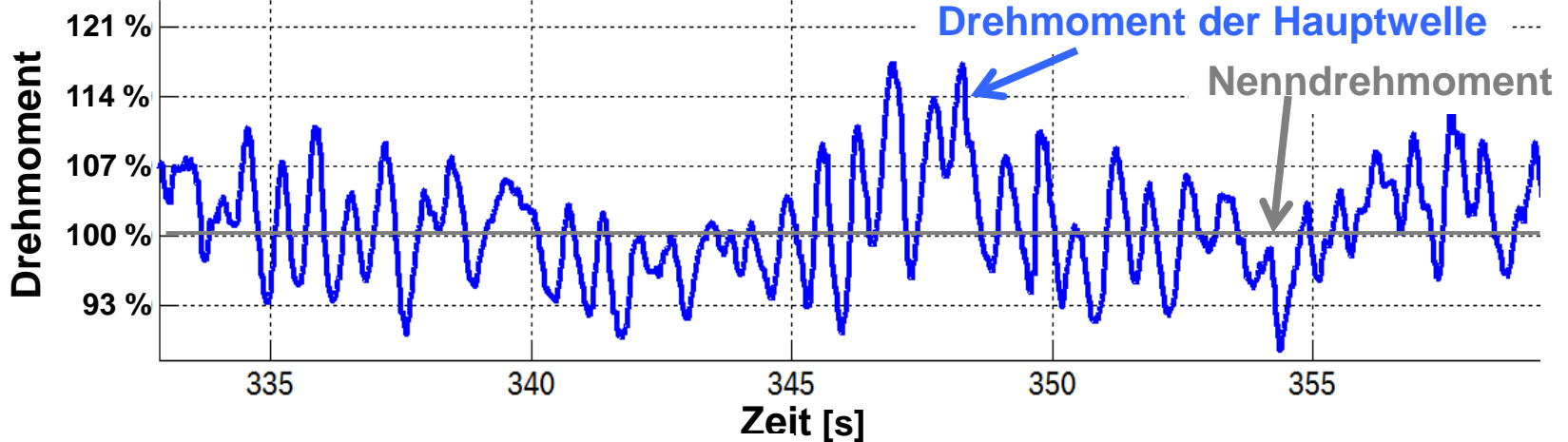


Leistungssignal des Generators relativ konstant, kaum Dynamik enthalten

- § Leistungsschwankungen durch Windeinflüsse
- § Zeitweise Betrieb über Nennleistung erkennbar

à Im Messsignal für das Drehmoment sind hohe Drehmomentschwankungen enthalten

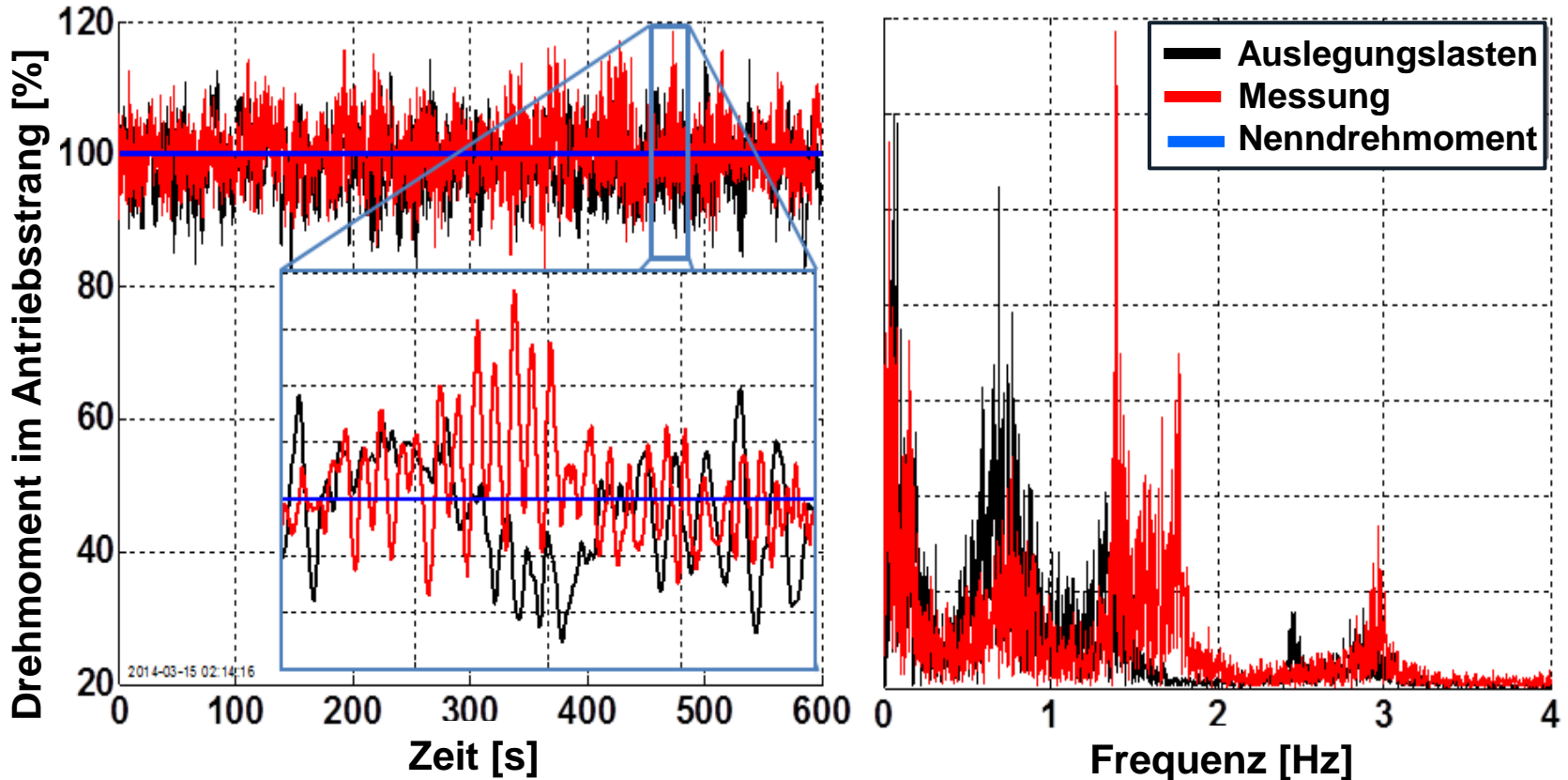
Messergebnisse bei Vollast: Leistungsklasse der Anlage 2-3 MW



Fazit:

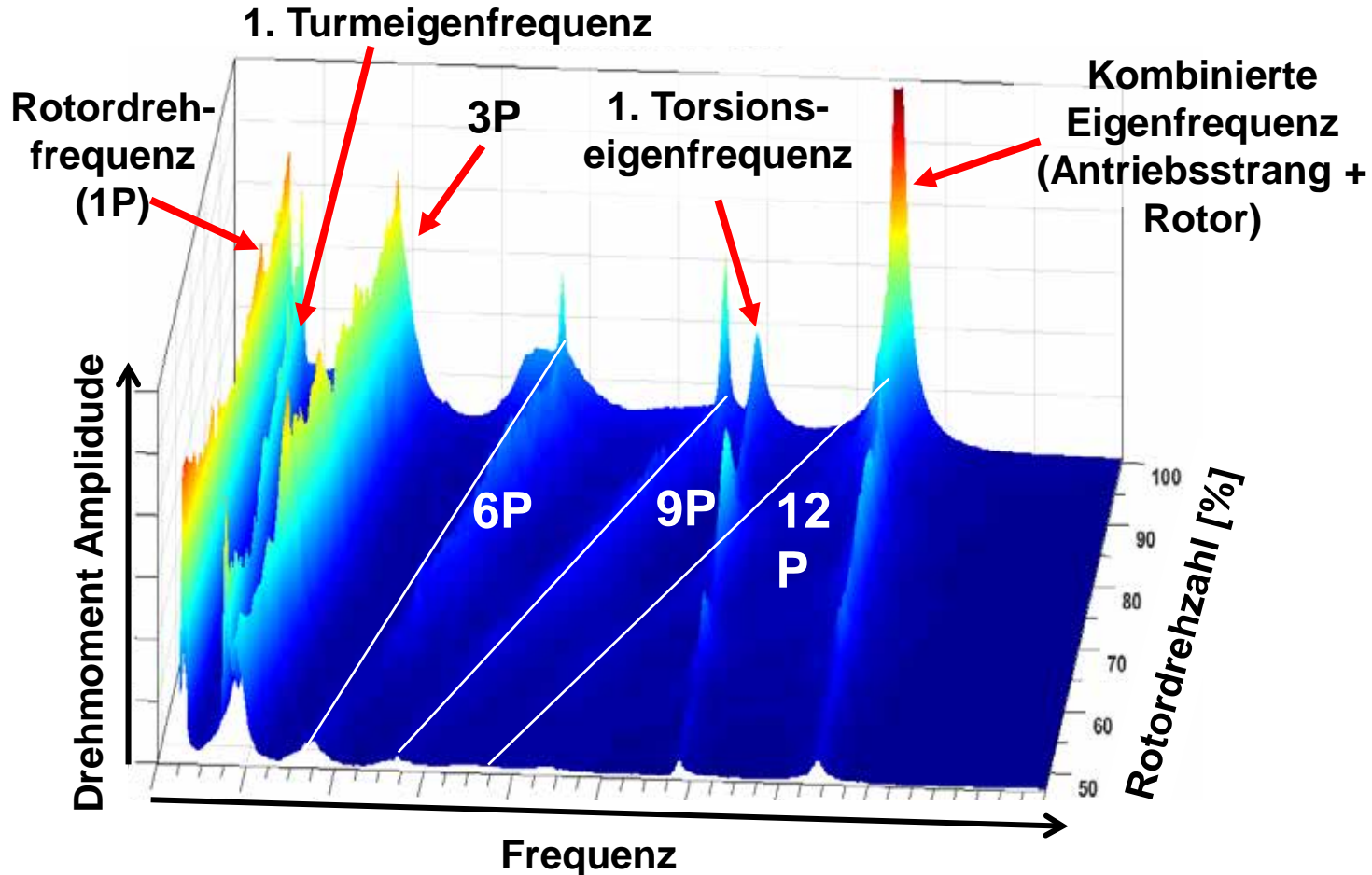
- § Drehmomentverlauf zeigt hohe Dynamik
- § Anlage wird meistens mit unnötig hohen Drehmomentamplituden im Bereich der 1. Torsionseigenfrequenz und damit unnötig hoher Belastung betrieben

Vergleich von Auslegungslasten mit Messungen



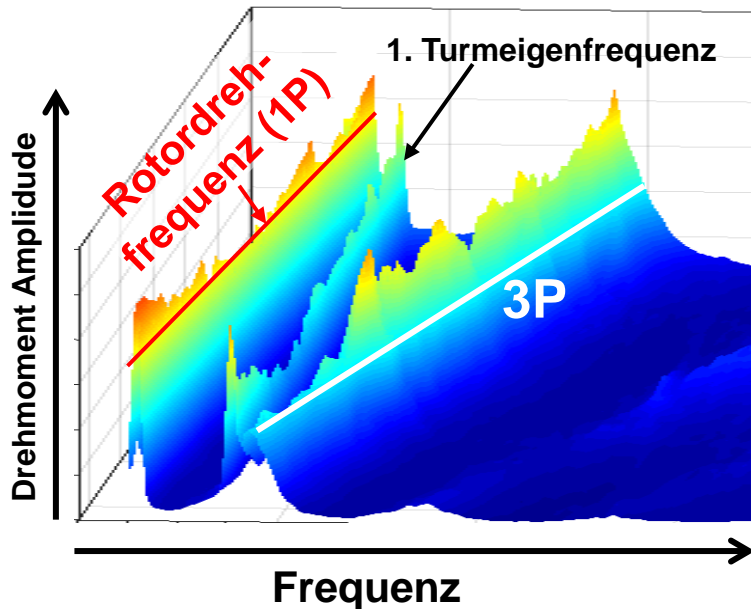
Höhere dynam. Lasten in den Messungen (speziell bei 1.5 Hz) als in der Auslegung

Schwingungsanalyse mit Dynamic Load Monitoring Messdaten



Fazit: Triebstrangdynamik mit DLM im Antriebsstrang sehr gut erkennbar

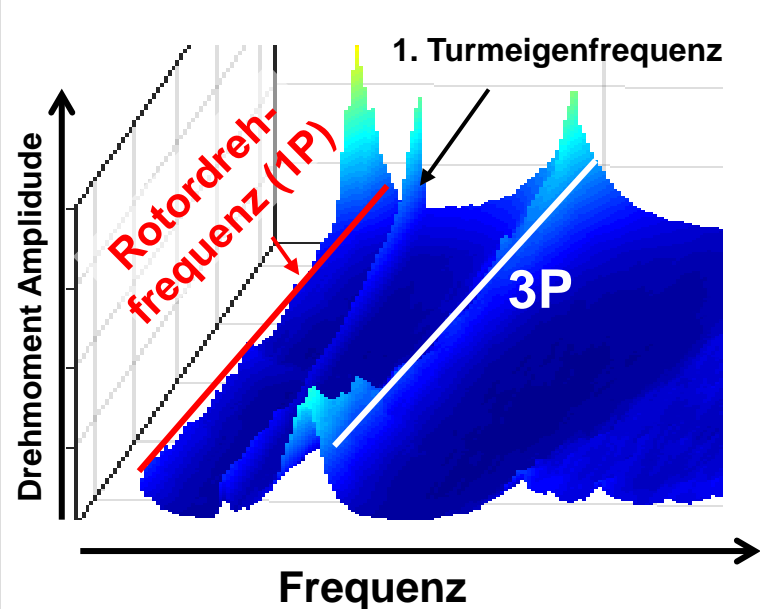
Massenunwucht



Amplitude im Drehmoment der 1. Ordnung der Rotordrehfrequenz im kompletten Drehzahlbereich nahezu konstant

- à Massenunwucht des Rotors
- à Quantifizierung der Massenunwucht anhand der Amplitude im Drehmoment der FFT

Aerodynamische Unwucht

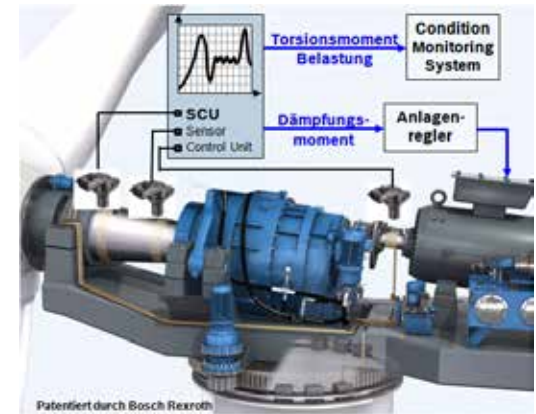


Amplitude im Drehmoment der 1. Ordnung der Rotordrehfrequenz steigt mit zunehmender Windgeschwindigkeit stark an

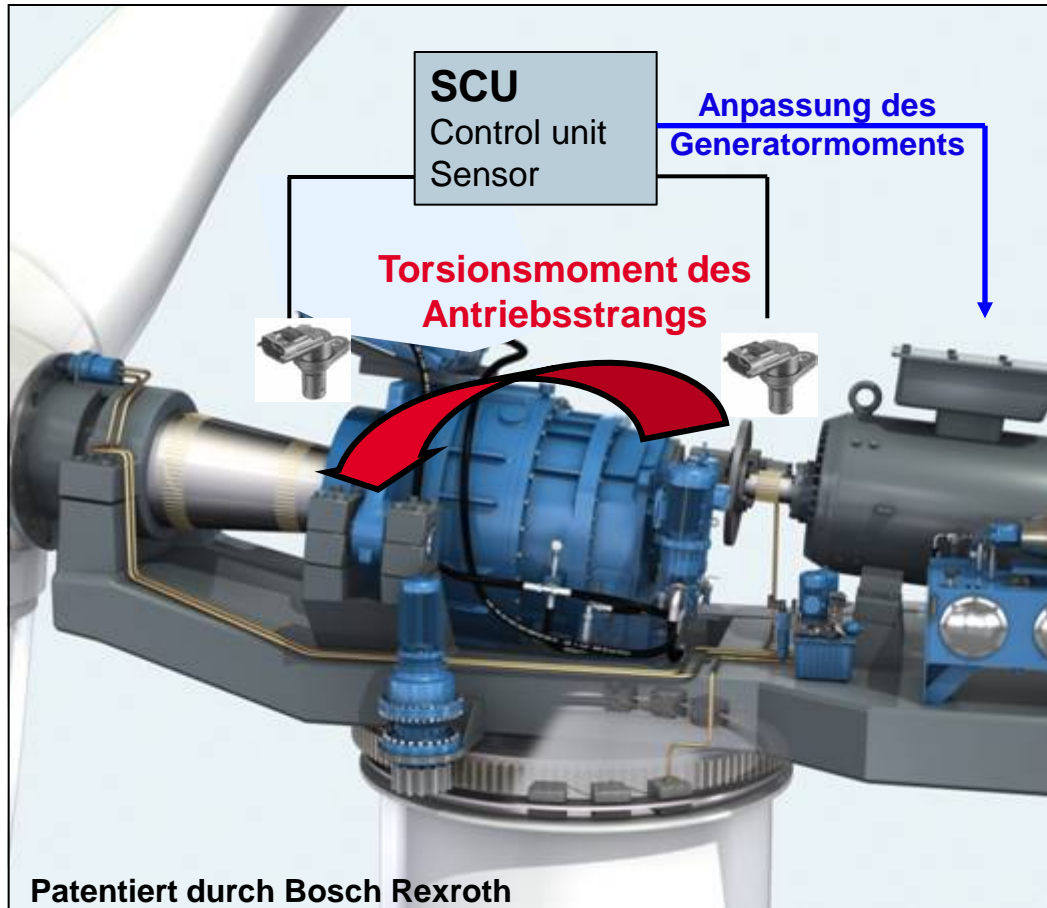
- à Aerodynamische Unwucht des Rotors
- à Quantifizierung der aerodynamischen Unwucht anhand der Drehmomentamplitude in der FFT

Inhalt

- Motivation
- Systemstruktur und Funktionsweise des Dynamic Load Monitor (DLM)
- Messergebnisse des Dynamic Load Monitor (DLM) im Feld
- Reduktion der Lasten im Antriebsstrang mit Active Torque Control (ATC)
- Möglichkeiten der Ertragssteigerung
- Zusammenfassung

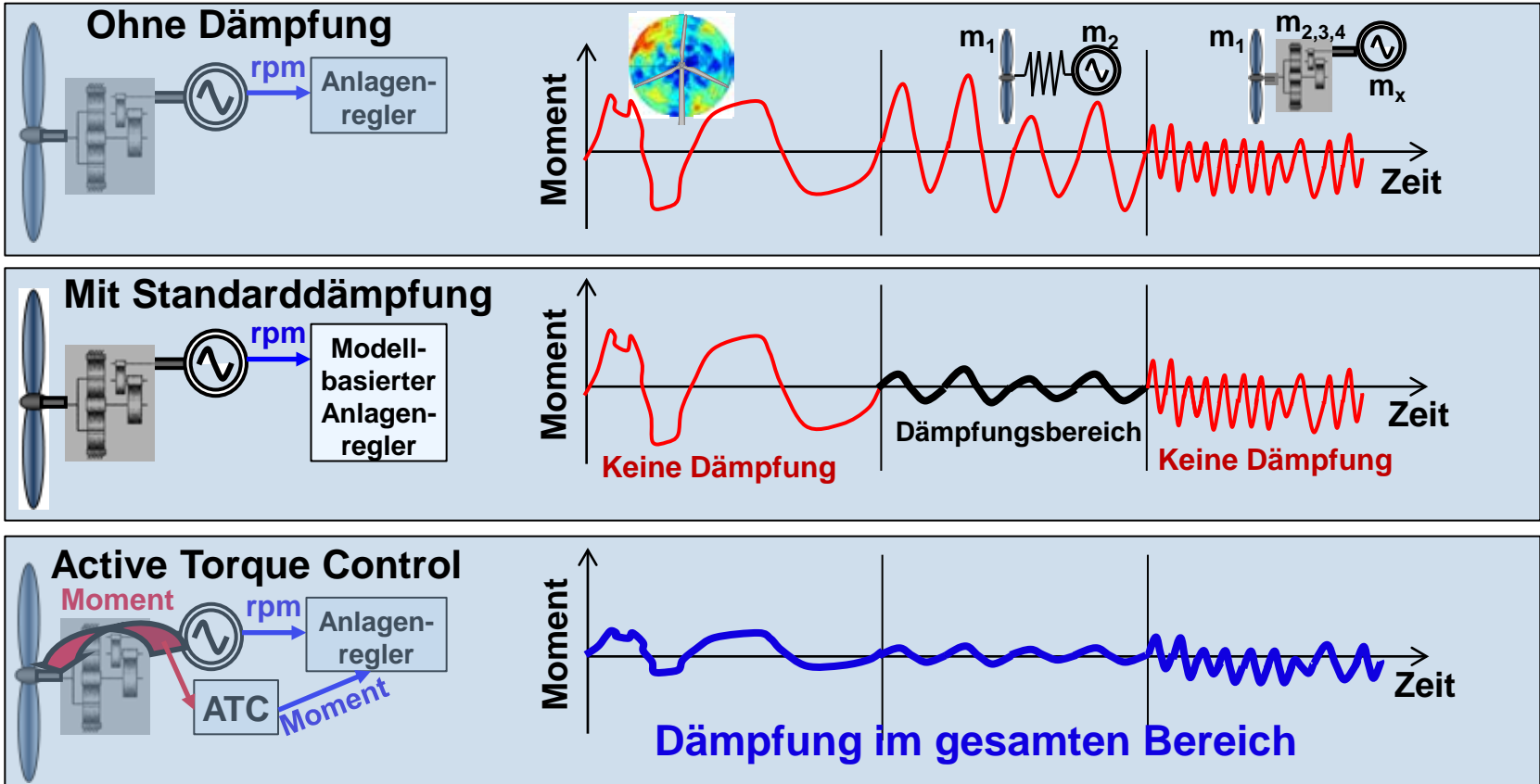


Aufbau und Wirkungsweise



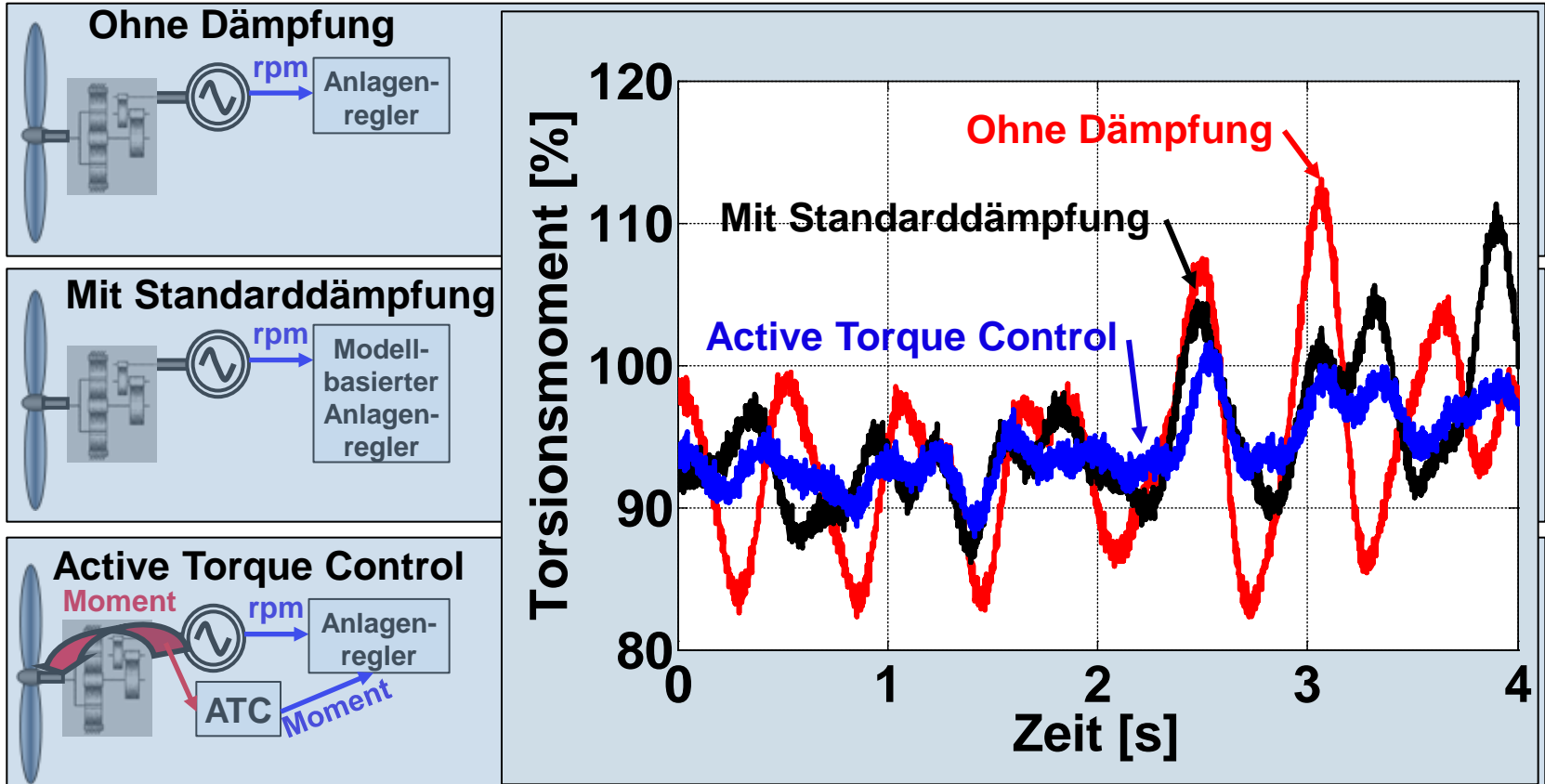
- § Dynamische Drehzahlmessung mittels adaptierter Automotive Sensoren
- § Berechnung des Torsionsmoments des Antriebsstrangs
- § Regelung des Generatormoments zur Reduzierung von Schwingungen des Moments und der Drehzahl des Antriebsstrangs

Dynamikvergleich im Antriebsstrang



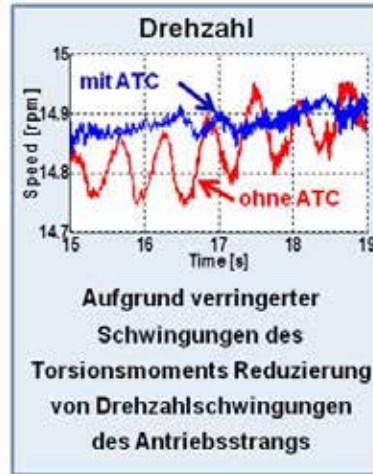
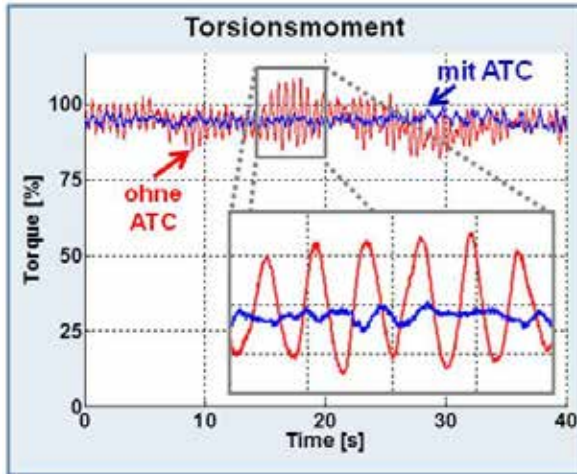
Optimale Lastreduzierung mit Active Torque Control

Dynamikvergleich im Antriebsstrang



Optimale Lastreduzierung mit Active Torque Control

Nutzen für Hersteller und Betreiber



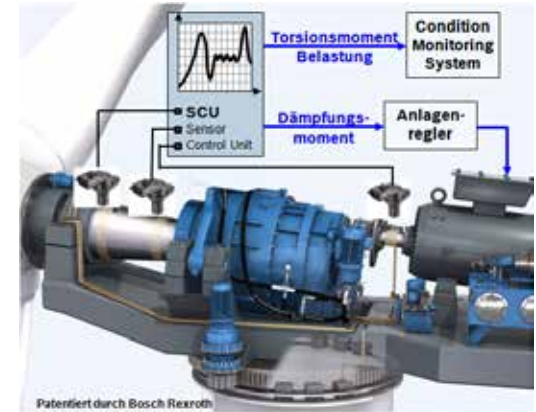
- Niedrigere Belastungen für Zahnräder und Wälzlager aufgrund geringerer Schwingungen im Torsionsmoment
- Strukturelle Vorteile durch reduzierte Dynamik im gesamten Antriebsstrang
- Verlängerung der Wälzlagerlebensdauer durch geringere Drehzahlschwankungen

Vorteile durch Active Torque Control

- § Steigerung der Nennleistung möglich bei Einsatz Active Torque Control
 - ▷ Gesteigerter Energieertrag
- § Geringere Blattschwingungen und dadurch verbesserte Aerodynamik
 - ▷ Gesteigerter Energieertrag

Inhalt

- Motivation
- Systemstruktur und Funktionsweise des Dynamic Load Monitor (DLM)
- Messergebnisse des Dynamic Load Monitor (DLM) im Feld
- Reduktion der Lasten im Antriebsstrang mit Active Torque Control (ATC)
- Möglichkeiten der Ertragssteigerung
- Zusammenfassung



Ertragssteigerung (Beispielrechnung)

Annahmen:

- Nennleistung der Anlage: 3 MW
- Rotordurchmesser: 115 m
- Durchschnittl. Windgeschwind.: 7 m/s
- Einspeisevergütung: 8 €/ct/kWh

	Steigerung Energieertrag pro Jahr
Leistungssteig. bis 3% bei vergleich baren schädigungsrelevanten Lasten	30.000 – 70.000 kWh
Optimierung der Leistungskennlinie speziell im Teillastbetrieb	10.000 – 40.000 kWh
Weniger Blattschwingungen und damit bessere Aerodynamik	10.000 – 30.000 kWh
In Summe	50.000 – 140.000 kWh



Höherer Energieertrag unterstützt eine Amortisation bereits im ersten Jahr



Zusammenfassung

Vorteile durch DLM

- Einsatz der Drehmoment- und Drehzahlinformationen des DLM für
 - Anlagensteuerung zur Ertragssteigerung (speziell Teillast)
 - Vermeidung von Überlasten
 - Verringerung der Wartungs- und Reparaturkosten
- Verlängerung der Anlagenlaufzeit über 20 Jahre durch Transparenz der Lasten
- Erkennung von Massenunwuchten und aerodynamischen Unwuchten

Vorteile durch ATC

- Reduzierung der schädigungsrelevanten Belastungen
- Steigerung der Nennleistung mit ATC durch Reduzierung der Dynamik
 - ↳ höherer Energieertrag
- Weniger Blattschwingungen und damit bessere Aerodynamik
 - ↳ höherer Energieertrag

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

Weitere Fragen beantworten gerne:
Andreas.Vath@boschrexroth.de
Dietmar.Tilch@boschrexroth.de