

WÄZLAGERSCHWINGUNGEN DATENGETRIEBEN ONLINE ÜBERWACHEN



Zusammenfassung

Wälzlager im Triebstrang von Windenergieanlagen unterliegen als hochbelastete Komponenten zahlreichen Einflüssen aus „Herstellung, Montage und Betrieb“. Durch körperschallbasierte, klassische Verfahren der Wälzlagerüberwachung und Diagnose sind lagerspezifische Zustandsveränderungen relativ frühzeitig erkennbar. Im Zusammenhang mit der Überwachung größerer Flotten helfen datengetriebene Verfahren Auffälligkeiten zu priorisieren, indem aus gemessenen Kennwerten und diagnostischen Kenngrößen Merkmale

extrahiert und in Anlehnung an Normen und Richtlinien definierten Wälzlagerzuständen zugeordnet werden. Voraussetzung für Anwendungen dieser Art sind jedoch potente und kontinuierlich messende CMS, die als Edge-Device arbeiten und IIOT-relevante Protokolle wie MQTT unterstützen.

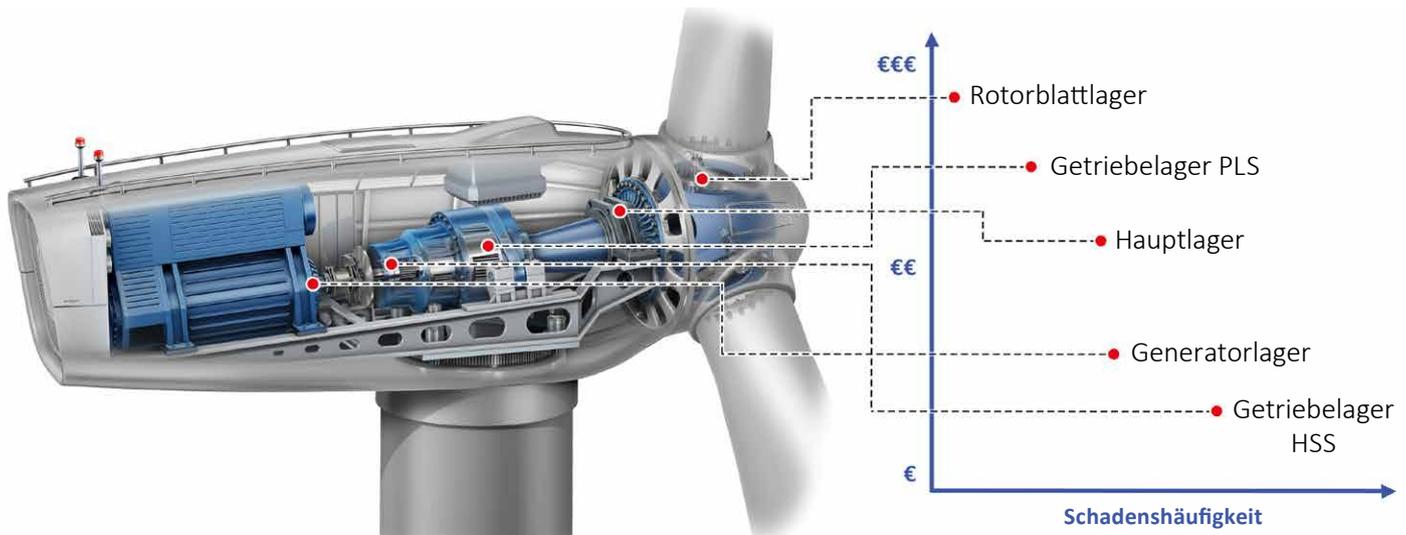


Bild 1: Zusammenhang zwischen Häufigkeit von Wälzlagerschäden bei Windenergieanlagen mit Getrieben und dem dadurch verursachten finanziellen Aufwand

1. Einleitung

Im Triebstrang von Windenergieanlagen verbaute Wälzlager übernehmen zentrale Aufgaben. Große Hauptlager stützen die langsam drehende Rotorwelle ab. Große und kleinere Wälzlager führen Getriebe- und Generatorwellen. Die Pitchantriebe der Rotorblätter, sowie der Azimutantrieb der Gondel sind ebenso wälzgelagert. Das Verhalten von Windenergieanlagen ist hoch dynamisch, Drehzahlen und Lastverhältnisse passen sich an momentan vorherrschende Windverhältnisse an. Räumlich und zeitlich schwankende Windfelder führen zu erhöhten Schwingbeanspruchungen und damit wirkt mehr Stress auf die Wälzlager. Auch deshalb sind Schäden im Triebstrang von Windenergieanlagen oft auf vorzeitige Wälzlagerschäden zurückzuführen. Erfahrungsgemäß sind Wälzlagerungen an der schnellen Triebstrangseite, besonders am Getriebeausgang häufiger betroffen. Bild 1 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen Schadenshäufigkeiten der genannten Wälzlagerungen und dem damit

verbundenen finanziellen Aufwand zur Instandsetzung. Besonders hoher Aufwand ist bei Schäden an Rotorhauptlagerungen, Planetenstufenlagerungen im Hauptgetriebe und an Rotorblattlagerungen selbst zu erwarten, da Instandsetzungen hier aufwändig sind. Einflussgrößen auf die tatsächliche Lebensdauer von Wälzlagerungen finden sich in den Bereichen „Herstellung, Montage und Betrieb“. Erste Voraussetzungen für das Erreichen der geplanten Lagerlebensdauer sind die anwendungsgerechte Lagerauswahl und eine einwandfreie Lagerherstellung, aber auch rein montageseitige Fehler können unerwünschte Zwänge und Verspannungen in die Wälzlager einbringen. Zuletzt definieren die tatsächlichen Betriebsbedingungen, wie lange ein passend ausgelegtes Wälzlager im Gutzustand läuft. In Bild 2 sind einige lebensdauerbeeinflussende Einflussgrößen zusammengefasst, die oft eng miteinander verknüpft sind.

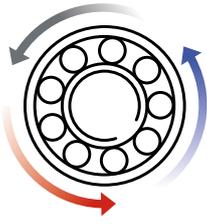
Herstellung	Montage	Betrieb
Werkstoff Formgenauigkeit Toleranzfelder Oberflächengüte Radiale Lagerluft ...	Zwänge Passung Schiefstellung Abweichung von Spieltoleranzen ...	Schmierstoffversorgung Maschinenschwingung Belastung statisch/dynamisch Betriebsparameter Betriebsspiel ...
 <p>Lebensdauer des Wälzlagers</p>		

Bild 2: Einige Einflussgrößen auf die Lebensdauer von Wälzlagerungen

Schadensstufe	1	2	3	4	5
Laufbahnschädigung im Wälzlager	Keine	Gerade sichtbare Pittings	Ausbreitend über mehrere Millimeter Größe	Weiter ausbreitend, über den Großteil des Überrollabstands	Stark ausgeprägt
Trend Breitbandkennwerte	Anstieg nur bei Mangelschmierung	Leichter Anstieg der Spitzenwerte, zunehmende Schwankungen	Deutlicher Anstieg der Spitzenwerte, leichter Anstieg der Effektivwerte	Langsamerer Anstieg der Spitzenwerte, deutlicherer Anstieg der Effektivwerte	Leichtere Anstiege der Spitzen- und Effektivwerte mit deutlichen Schwankungen
Amplitudenspektren	Keine Musteränderung	Keine Musteränderung, geringe Pegelerhöhung über 1 kHz	Überrollfrequenzen leicht erkennbar und Pegelerhöhung über 1 kHz	Starke Pegelerhöhung über 1 kHz	Sehr hohe Pegel über 1 kHz, dominante Überrollfrequenzen
Hüllkurvenspektren	Keine Musteränderung	Erste Ordnung der Überrollfrequenzen schwach sichtbar	1. Ordnung der Überrollfrequenzen deutlich sichtbar, Harmonische schwach ausgeprägt	Frequenzmuster stark ausgeprägt, Pegel der Harmonischen der Überrollfrequenz nähern sich dem Pegel der 1. Ordnung an	Frequenzmuster stark ausgeprägt, Linien der Überrollfrequenzen verwaschen
a-Zeitsignal	Ohne dominante Spitzen	Einzelne wenig dominante Spitzen	Sich periodisch wiederholende Spitzen	Periodisch auftretende dominante Spitzen	Periodisch auftretende dominante Spitzen
Hüllkurvenzeitsignal	Niedriges Grundrauschen, drehzahlunabhängig	Niedriges Grundrauschen	Niedriges Grundrauschen	Erhöhtes, drehzahl-abhängiges Grundrauschen	Erhöhtes, drehzahl-abhängiges Grundrauschen

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Diagnosemerkmalen und Schadensstufen (Kritizitäten) eines Wälzlagers in Anlehnung an VDI 3832

2. Klassische Schwingungsverfahren zur Wälzlagerzustandsdiagnose

Rotierende Wälzlagerkomponenten erzeugen messtechnisch abgreifbare, hochfrequente Körperschallsschwingungen infolge von Abroll-, Reib- und Stoßvorgängen an Bauteilen des Wälzlagers. Bei der Wälzlagerdiagnose im Rahmen von präventiver und proaktiver Instandhaltung können mit Körperschallmessverfahren frühe Stadien von Wälzlagerschäden erfasst werden. Grundlagen für Wälzlagerdiagnosen bilden Zeitsignale, sowie die daraus abgeleiteten Amplituden- und Hüllkurvenspektren. Im frühen Schadensstadium zeigen sich im hochfrequenten Beschleunigungsspektrum (auch größer 10 kHz) breite Anregungsgebiete, da mit abnehmender Laufbahngüte die Körperschallsignale „energievoller“ werden. Diskrete Wälzlagerfehler erzeugen Folgen impulsförmiger Stoßanregungen mit lagerspezifischen Überrollfrequenzen vom Außen-

ring, Innenring, Wälzkörper und vom Käfig. Besonders sensitiv reagiert auf Schädigungen das Hüllkurvenverfahren. Über Amplitudenänderungen, und im späten Schadensstadium auch über Frequenzabweichungen kann auf das Schadensstadium geschlossen und bei bekannter Lagerkinematik die Fehlerstelle im Lager lokalisiert werden. Das hochdynamische Zeitsignal der Beschleunigung bringt im Diagnoseprozess zusätzliche Sicherheit, indem es oft Charakteristika der Abwälzkinematik innerhalb der Wälzlager widerspiegelt. Tabelle 1 gibt einen Überblick zu weiteren Kriterien bei der Schadensdiagnose von Wälzlagerungen gemäß VDI 3832, die Diagnostiker gern benutzen, was aber auch sehr zeitintensiv ist. Im Rahmen einer kontinuierlichen Wälzlagerüberwachung ist es effizienter, gemessene Zeitsignale zu skalaren Kennwerten weiterzuverarbeiten und die zuvor beschriebenen, tieferen Diagnoseschritte nur auf Anlass, d.h. bei Veränderungen im Kennwerttrend durchzuführen.

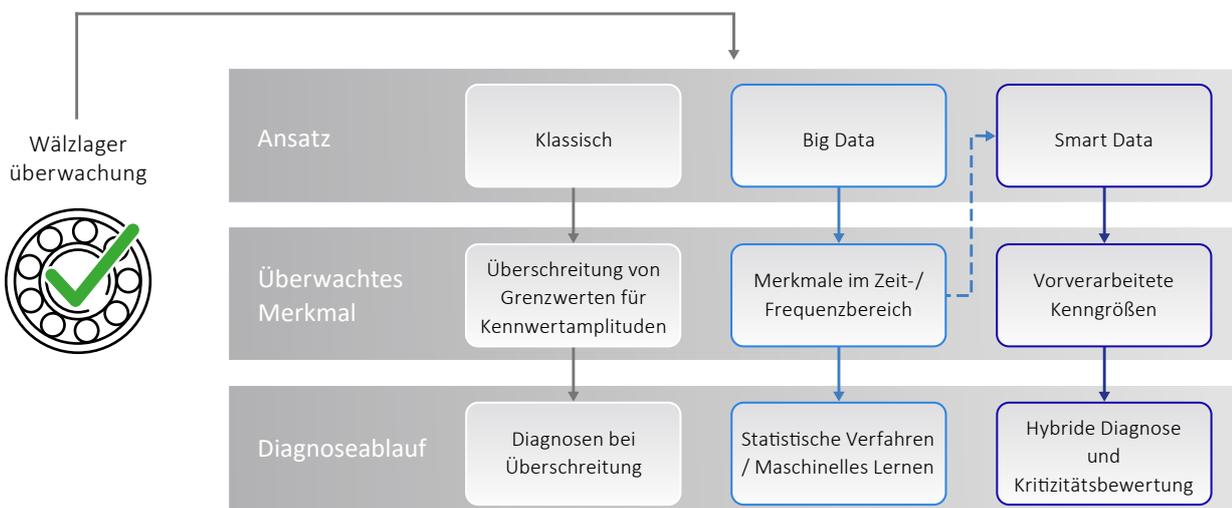


Bild 3 Ansätze zur datengetriebenen Zustandsüberwachung nicht nur an Wälzlagerungen

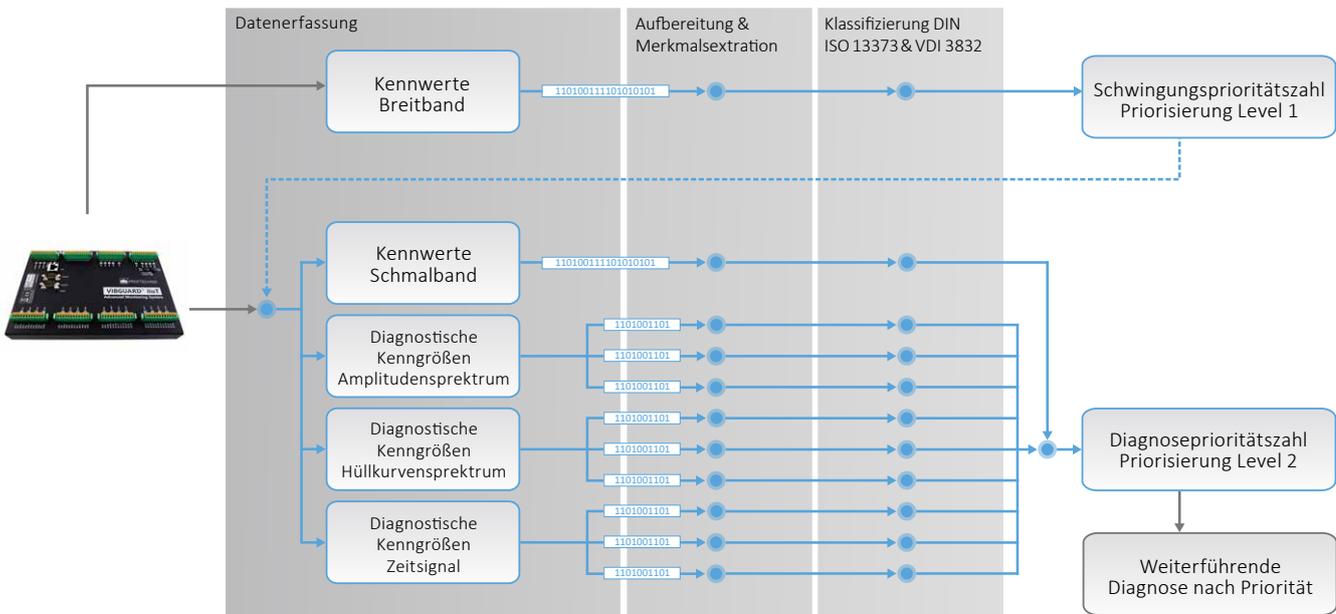


Bild 4: Schema zum datengetriebenen Condition Monitoring Prozess

3. Datengetriebene Verfahren zur Wälzlagerzustandsdiagnose

Im Zeitalter von „Industrie 4.0“ und „Predictive Maintenance“ werden mehr und mehr datengetriebene Analyseverfahren diskutiert. (siehe auch Bild 3) Solche „Big Data“-Verfahren setzen darauf, möglichst umfassende Datenmengen zu sammeln, mit Data-Mining Methoden Merkmale zu extrahieren und durch Verwendung von (angelernten) Modellen Ereigniswahrscheinlichkeiten auszugeben. Die Herausforderungen solcher Anwendungen liegen einerseits im Beherrschen großer Datenmengen, andererseits sind die oft komplexen Analysevorgänge und die Erzeugung der Ausgabeprognozen meist wenig transparent. Daher haben sie sich in der Windbranche bei der Wälzlagerzustandsdiagnose noch nicht durchgesetzt.

„Smart-Data“-Anwendungen haben hingegen das Ziel, aus großen Datenmengen über oft ähnliche Analyseverfahren sinnvolle Merkmale zu extrahieren, die von Anwendern verstanden und ggf. als Ausgangspunkt für weiterführende Analysen verwendet werden können. Zur Merkmalsextraktion bieten sich statistische Verfahren an, die Kennwertrends vom Zeit- in den Häufigkeitsbereich übertragen und daraus repräsentative Parameter ermitteln. Gerade bei Windenergieanlagen mit hochgradig instationärem Betriebsverhalten bieten solche statistischen Aufbereitungen einen hohen Mehrwert.

Sollen am Ende jedoch Wälzlager in großen Anlagenzahlen ressourcenn-effektiv überwacht werden, ist es sinnvoll, die als Auffälligkeit extrahierten Merkmale zu priorisieren. Zur Priorisierung können Grenzwerte der DIN ISO 13373-3 (Breitbandkennwerte), bzw. Charakterisierungen der VDI 3832 herangezogen werden. Bild 4 zeigt den Ablauf solch datengetriebenen Condition Monitorings. Das CMS ist quasi zusätzlicher Datenlieferant für bereits im CMS vorverarbeitete Kennwerte und diagnostische Kenngrößen. Sollen große Anlagenzahlen, bzw. viele verschiedene Lagertypen überwacht werden, schließt sich der Klassifizierung ein Gewichtungsverfahren an, das den extrahierten Merkmalen je nach Ausprägung vordefinierte Bedeutungen zuweist. Die Festlegung dieser Gewichtungsfaktoren beruht auf Expertenwissen und Erfahrungen.

Voraussetzung solcher Verfahren ist, dass potente Messsysteme zur Verfügung stehen, die schnell und zeitsynchron über viele Kanäle messen und sowohl frequenzselektive als auch ordnungsselektive Kennwerte und diagnostische Kenngrößen gleich aus dem CMS ausgeben können. Als Beispiel sei hier das VIBGUARD IIoT Online-CMS-System von PRÜFTECHNIK genannt, das als „Edge-Device“ auch Möglichkeiten der Datenreduktion bietet und zudem IOT-relevante Protokolle wie MQTT unterstützt. Die Bewertung von Schwing- und Diagnoseprioritäten kann dann aber auch übergeordnet in der Leitstelle stattfinden.

Autoren:

Dipl.-Ing. Michael Dietl,
Dr. Edwin Becker,
PRÜFTECHNIK Condition
Monitoring GmbH

Über PRÜFTECHNIK:

PRÜFTECHNIK ist ein weltweiter Anbieter von Wartungstechnik mit einem breiten Sortiment von Produkten, Dienstleistungen und Trainingsprogrammen, die speziell auf die Anforderungen von Wartungsexperten in den Bereichen Wellenausrichtung, Schwingungsanalyse, Condition Monitoring und zerstörungsfreie Prüfungen zugeschnitten sind. Weltweit vertrauen zahlreiche produzierende Unternehmen auf unsere Lösungen für eine zuverlässige und zustandsorientierte Instandhaltung von rotierenden Maschinen.

www.pruftechnik.com



PRÜFTECHNIK Dieter Busch GmbH
Oskar-Messter-Str. 19-21
85737 Ismaning
Germany
Tel.: +49 89 99616-0
Fax: +49 89 99616-200
www.pruftechnik.com

A member of the PRUFTECHNIK group