

Die Feststellung des Ist-Zustands genügt nicht



Dipl.-Ing.
Martin Stöckl

Anschrift des Autors:
Sachverständigenbüro
Stöckl,
Karl-Theodor-Str. 10,
85123 Karlskron,
Tel. 0172/9844223,
Fax 08450/923869

Revisionsklauseln, Lagertausch nach fünf Jahren, Condition-Monitoring-Systeme, zustandsorientierte Triebstrangprüfung – alles Schlagworte, die in der Windbranche viel diskutiert werden. Daraus ergeben sich für Sachverständige neue Herausforderungen und dafür sind viel spezielles Know-how und umfangreiche Erfahrung erforderlich. Allein mit der Feststellung von Abweichungen vom Idealzustand ist es nicht mehr getan. Es muss vielmehr der Ist-Zustand für die weitere Verwendbarkeit der Komponenten bewertet werden. Dies ist gerade bei Abweichungen vom Normalzustand mitunter eine sehr schwierige Aufgabe. Wie schon beim gemeinsamen Auftritt auf der letzten Windmesse in Husum vorgestellt, haben unabhängige Sachverständige und Experten ein Netzwerk gebildet, in dem Aktivitäten gezielt gebündelt werden. Das Ziel dieser Bündelung liegt darin, dass von nur einem Sachverständigen an der Anlage alle Untersuchungen einschließlich einer offline-Messung durchgeführt werden können. Der Auftraggeber erhält einen Gesamtbericht. Darin sind alle Ergebnisse der einzelnen Prüfung dargestellt. Das Netzwerk besteht aus den Firmen Windexperts – einem Zusammenschluss von öbuv WEA-Sachverständigen Stephan Glocker, Martin Veltrup-Neil, Ullrich Arndt und Josef Gerster, dem öbuv-Getriebesachverständigen Martin Stöckl und der Gesellschaft für Maschinendiagnose (GfM) aus Berlin.

Zustandsorientierte Triebstrangprüfungen

Mittlerweile wurden mehr als 500 zustandsorientierte Triebstrangprüfungen nach den Richtlinien des BWE-Sachverständigenbeirates durchgeführt. Diese Richtlinien wurden zum großen Teil von einigen Versicherern übernommen. Der Ablauf einer zustandsorientierten Triebstrangprüfung sieht im Wesentlichen wie folgt aus:

- Beurteilung des äußeren Zustandes (Dichtheit, Befestigung, Ölstand, Bremse, usw.),
- Überprüfung der Ausrichtung des Generators auch mit Lasersystem,
- visuelle Kontrolle (auch endoskopisch) des inneren Zustandes des Getriebes (Verzahnungen, Wälzlager, Ölzustand, Ablagerungen, Metallantrieb usw.),



Abbildung 1: Vergleich Initialschaden visuell - Rasterelektronenmikroskop (Abbildung 2)

- bei Bedarf Zahnabdruck für die weitere labortechnische Untersuchung,
- schwingungstechnische Messdatenerfassung unter Last,
- Geräuschverhalten der gesamten Anlage,
- Ölprobe.

Bei der schwingungstechnischen Messdatenerfassung ist es aufgrund der meist extrem rasch wechselnden Windbedingungen sehr empfehlenswert, ja sogar erforderlich, dass möglichst viele Messdaten zeitgleich erfasst werden. Des Weiteren muss die Generator-drehzahl zeitgleich mitgeschrieben werden, da selbst bei drehzahlstarrten Anlagen diese Drehzahl während der Messzeit nicht konstant bleibt.

Bei der Auswertung der Daten wird dann die Drehzahl mit Hilfe der Ordnungsanalyse eindeutig exakten Frequenzen zugeordnet. Ohne dieses Verfahren wären die Ergebnisse nicht eindeutig zuzuordnen. Unter Ordnungsanalyse wird das Umwandeln des Zeitsignals in ein drehzahlsynchrones Signal verstanden, bevor weitere Signalanalysefunktionen angewandt werden. Für die Auswertung der Schwingungsmessung ist die Kinematik des Triebstranges erforderlich. Zur Kinematik gehören die Zahnzahlen und die Wälzlagerarten des Getriebes sowie die Wälzlager des Generators und der Hauptwelle. Hierbei handelt es sich keineswegs um schützenswerte Daten, wie von einigen Anlagenbauern immer

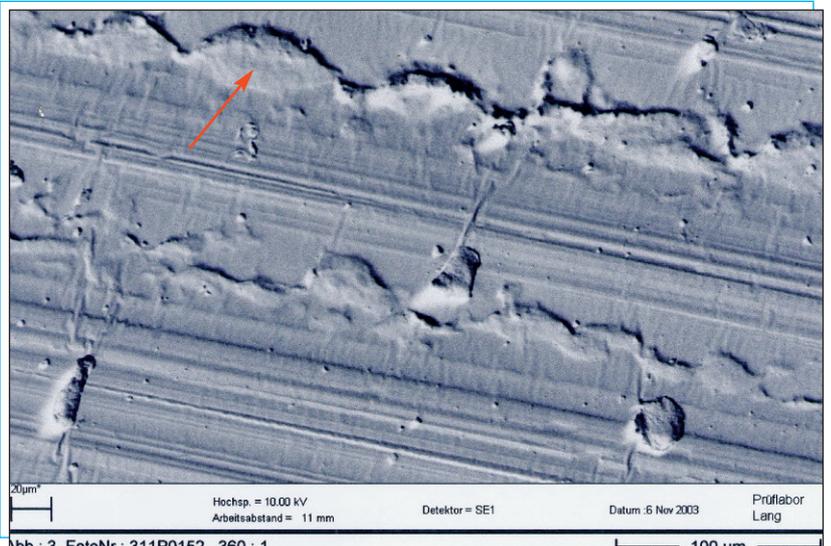


Abbildung 2: Rasterelektronenmikroskopaufnahme - Die Mikropittings starten als Schwingbrüche an den Mikrorissen, die durch Graufleckigkeit verursacht wurden.

noch behauptet wird. Zum Lieferumfang einer Anlage gehört eben auch die erforderliche Dokumentation. Im Industriegetriebebereich gehören die Kinematikdaten längst zum Umfang der Dokumentation, die dem Käufer mitgeliefert wird. Werden die Kinematikdaten nicht zur Verfügung gestellt, kann der Betreiber seinen Versicherungsschutz verlieren.

Bewertung des Ist-Zustands

Aus diesen einzelnen Untersuchungsmethoden der Triebstrangprüfung lassen sich dann in einer ganzheitlichen Betrachtung Rückschlüsse auf den tatsächlichen Zustand des Triebstranges ziehen. Und eben diesen tatsächlichen Zustand des Triebstranges gilt es nun im Hinblick auf die weitere Lebensdauererwartung zu bewerten. Dabei kommen dann Aspekte wie Graufleckigkeit, starkes Kopf- oder Fußtragen, Stillstandsmarkierungen, Mikropittings, einseitiges Tragbild, Abplatzer usw. zum Tragen. All diesen Erscheinungsbildern ist gemeinsam, dass Abweichungen vom Normalzustand der Verzahnungen vorhanden sind. Solche Abweichungen können je nach Lage und Ausprägung mitunter zu einer erheblichen Verkürzung der Komponentenlebensdauer führen, da der Werkstoff partiell geschädigt ist. Bei gehärteten Oberflächen entstehen bei den Initialschäden feinste Risse, die im weiteren Betrieb durch Schwingbrüche zum Totalausfall der einzelnen Verzahnungsteile führen können. Diese Abweichungen an Verzahnungsteilen lassen sich auch mit einem speziellen Zahnabdruck und einer raster-elektronenmikroskopischen Untersuchung im Labor dokumentieren und nachvollziehbar eindeutig bewerten. Das gleiche gilt für die bei der Diagnoseauswertung ebenfalls betrachteten Wälzlager. Bei entsprechender Notwendigkeit müssen notfalls die meist sehr verdeckt eingebauten Wälzlager mit speziellen Endoskopen oder Videokopen visuell begutachtet werden. An dieser Stelle sei angemerkt, dass hier nicht auf die Unterschiede zwischen Online- und Offline-Diagnose eingegangen wird. Entscheidend ist jedoch, dass bei der Online-Diagnose auf die visuelle Inspektion nicht verzichtet werden kann. Es gibt eben Abweichungen vom Idealzustand, die sich auch mit modernster Diagnosetechnik nicht oder nicht in entsprechendem Umfang erkennen lassen. Nehmen wir als Beispiel die Graufleckigkeit. Es handelt sich beim Erscheinungsbild zu-

nächst nur um einen Materialabtrag, der im μm -Bereich liegt. Die herstellungsbedingten Toleranzen der antriebstechnischen Komponenten liegen bereits in der gleichen Größenordnung, wenn nicht sogar größer. Daher kann die schwingungstechnische Diagnose keine signifikanten Auffälligkeiten liefern. Selbst über den Metallgehalt im Öl ist Graufleckigkeit nicht immer nachzuweisen, da der spezifische Gehalt an Metallabrieb unter Umständen unter den üblichen Grenzwerten liegt.

Initialschäden

Ein weiterer Punkt ist die Tatsache, dass vor allen Dingen bei signifikanten Unregelmäßigkeiten an den Verzahnungen im Ergebnis der Schwingungsmessung zumindest bei derzeitigem Wissensstand noch keine Aussage über die weitere Verwendbarkeit des Triebstranges allein aus der schwingungstechnischen Analyse möglich ist. Hier ist nach wie vor das geschulte Auge des erfahrenen Experten notwendig. Die Ergebnisse und Feststellungen bei der Triebstrangprüfung werden in einem Gesamtbericht zusammengefasst und bewertet. Mit der Triebstrangprüfung lassen sich jedoch Primärschäden nicht verhindern. Es lassen sich aber die meist sehr kostenintensiven Folgeschäden deutlich reduzieren. Ein großer Prozentsatz von Wälzlagerschäden sowie auch Schäden an Verzahnungsteilen entwickelt sich im allgemeinen aus kleinsten Unregelmäßigkeiten, die sich langsam entwickeln und irgendwann zum Totalausfall der Komponente führen können. Werden nun solche Unregelmäßigkeiten rechtzeitig erkannt, bleibt meist noch genügend Zeit, entsprechenden Ersatz zu beschaffen und den Austausch gezielt zu planen. Langfristige ungeplante Anlagenstillstände und Betriebsunterbrechungen mit erheblichem Produktions-

ausfall lassen sich so deutlich reduzieren. Dies ist besonders an geographisch sehr schwer zugänglichen Standorten wichtig. Krankkapazitäten und Montagepersonal lassen sich so besser einplanen. Als ein sehr kritischer Faktor zählen Initialschäden besonders bei Ablauf der Gewährleistung. Während die Anlagelieferanten mitunter den Standpunkt vertreten, dass die festgestellten Initialschäden keinerlei Auswirkungen auf die Getriebelebensdauer haben, weisen die Versicherer den Betreiber darauf hin, dass er diese Unregelmäßigkeiten beseitigen muss. Andernfalls erlischt für diese Komponenten der Versicherungsschutz. Auch daraus resultierende Folgeschäden können dann von der Ersatzpflicht ausgeschlossen bleiben. Warum aber können Initialschäden und Unregelmäßigkeiten, also Abweichungen vom Idealzustand zu einer Verkürzung der Lebensdauer führen? Die Fertigung der Teile erfolgt in einer meist sehr guten Qualität. Dies bedeutet, dass die Toleranzen sich in sehr engen Grenzen bewegen (Hundertstelmillimeterbereich, natürlich von der Größe der einzelnen Verzahnungsstufe abhängig). Die Oberflächenrauigkeit nach dem Schleifen liegt im Bereich von max. 0,5 Mikrometer. Das Kennzeichen einer Einsatzhärtung liegt darin, dass die Zahnflanken aufgrund ihrer großen Oberflächenhärte sich ohne Schaden nicht nennenswert mit den üblichen Getriebeölen plastisch deformieren lassen. Das einzige, was beim Betrieb an den Verzahnungen erkennbar ist, ist die Einglättung der Rauigkeitsspitzen. Diese Einglättung liegt im Bereich von 1 Mikrometer. Durch die Einglättung ergibt sich der so genannte Zahnspiegel (metallisch blank bis hochglänzend). Dieser ist besonders gut am Ritzel zu erkennen und ist natürlich abhängig von der Belastung und der Betriebsdauer.



Dipl.-Ing.
Martin Veltrup-Neil

Anschrift des Autors:
Windexperts
Prüfgesellschaft mbH,
Weidegrund 7,
26188 Edewecht,
Tel. 04486/938501,
Fax 04486/938502

Wissenschaft
und Technik

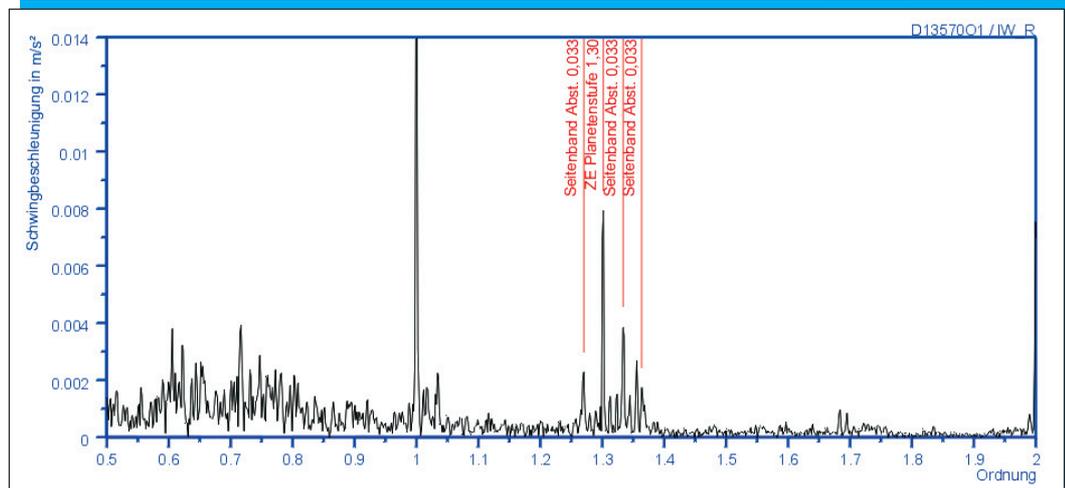


Abbildung 3: Ordnungsspektrum, gemessen an der langsamen Welle rotorseitig

Eine Selbstkorrektur bei einsatzgehärteten Verzahnungen ist wie nachfolgend beschrieben nur auf Kosten einer erheblich reduzierten Lebensdauer möglich. Alles was an Abtrag oder plastischer Verformung darüber hinausgeht, stellt im Werkstoff bereits eine Initialschädigung dar. Durch das plastische Verformen (zum Beispiel Eckträger) oder durch den Abtrag von Werkstoffpartikeln (zum Beispiel Graufleckigkeit, Mikropittings oder Stillstandsmarkierungen) wird der Werkstoff in diesem Bereich zumindest partiell geschädigt. Die einzelnen Partikel werden über ihre Streckgrenze hinaus beansprucht und brechen dann aus. An den Bruchrändern entsteht dadurch leicht überhöhter Werkstoffaufwurf infolge von Zungenbildung. Die Oberflächenrauigkeit steigt deutlich an. Des Weiteren bilden sich dabei feinste Risse besonders an den Zungen. Diese Initialrisse sind der Ausgangspunkt für so genannte Schwingbrüche, die sich durch die weitere Belastung durch den Betrieb bilden. Verstärkt wird das Risswachstum, da Öl mit Hochdruck in die Initialrisse eindringt und den Werkstoff in die Tiefe zusätzlich beansprucht. Infolge davon können größere Partikel aus den Zahnflanken ausbrechen.

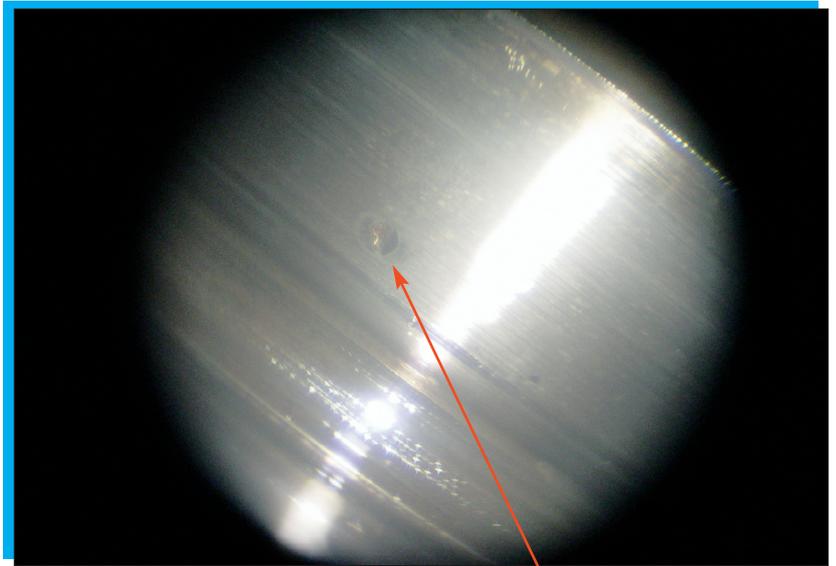


Abbildung 4: Ausschnitt Zahnflanke Hohlrad mit Oberflächenausbruch ϕ 5 mm

Bei initial geschädigten Zahnflanken steht zur Aufnahme der Belastung weniger Fläche zur Verfügung. Schließlich können Fehlstellen an der Oberfläche keine Last übertragen. Dies führt dazu, dass die spezifische Flächenbelastung steigt. Infolge davon kommt es zu einer erhöhten Beanspruchung der restlichen Oberfläche. Die erhöhte Beanspruchung führt dann zu einer vorzeitigen Ermüdung des Werkstoffes.

Der Schadensprozess läuft dann ab unter der Bezeichnung Pittingbildung. In diesem Zusammenhang gilt es, die Ausbildung eines tragfähigen Schmierfilmes zu beachten. Die Rauigkeiten werden beim Schleifprozess unter anderem auch deswegen so gering gewählt, damit sich die Rauigkeitsspitzen der Zahnflanken beim Rollen und Gleiten nicht berühren (Gefahr der Festkörperreibung mit Fressen). Es stellt sich durchaus die Frage, warum die Verzahnungsteile hochgenau gefertigt werden, wenn nach kurzer Betriebszeit bereits deutliche Abweichungen vom Ausgangszustand vorhanden sind, diese aber keinerlei Einschränkung der Lebensdauer der Teile haben sollen. Allerdings lassen sich manche Initialschäden (wie Graufleckigkeit) an Verzahnungsteilen durch Verwenden von speziellen Hochleistungsölen durchaus beim weiteren Betrieb wieder stoppen und zum Teil die Unregelmäßigkeiten auch wieder einglätten. Voraussetzung hierzu ist jedoch, dass diese Abweichung vom Idealzustand noch nicht allzu sehr fortgeschritten ist. Des Weiteren müssen diese Hochleistungsöle ihre plastisch deformierende Wirkung (PD-Eigenschaft) tatsächlich auch in den Windkraftgetrieben herrschenden Zuständen erbringen.

Dipl.-Ing. Martin Stöckl,
Dipl.-Ing. Martin Veltrup-Neil,
Dipl.-Ing. Stephan Glocker



Dipl.-Ing.
Stephan Glocker

Anschrift des Autors:
Windexperts
Prüfungsgesellschaft mbH,
Kotzenbrühl 4b,
87700 Memmingen,
Tel. 08331/983-686,
Fax 08331/983-465

- Literatur:**
1. DIN 3979 Zahnschäden an Zahnradgetrieben
 2. Niemann, Winter, Maschinenelemente BD II
 3. E. Bauer, Ismaning VDI Bericht Nr. 902

ntst rk Enz l-Wn kr ft nl n

Wrt nln n

- ...
- ...
- ...
- ...
- ...
- ...

Schub ...

www.saxovent.com

SAXOVENT

Im ...

RESERV

INGENIEUR
DIENSTLEISTUNG GMBH

GUTACHTEN - BEWERTUNGEN
 PRÜFUNGEN - SCHADENMANAGEMENT
 FÜR WINDENERGIEANLAGEN

Zum Rischanger 2
 31535 Neustadt / Rbg.
 Telefon 05032 - 9630-31
 Telefax 05032 - 9630-32