

Graufleckigkeit ist und bleibt ein Mangel

Graufleckigkeit auf Zahnflanken ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wälzfestigkeit des Werkstoffs im Bereich der Zahnflanken durch die aufgetragenen Belastungen örtlich oder über die gesamte Zahnbreite überschritten ist. Wenn ungünstige Schmierverhältnisse, das heißt wenn Mischreibung mit relativ hohen Reibungszahlen vorliegt, kommt es bereits ab 80 % der Wälzfest

weiterer Schadensverlauf oft nur sehr langsam voranschreitet. Aussagen wie „bei der festgestellten Graufleckigkeit handelt es sich um normale Gebrauchsspuren“ sind nicht korrekt und lenken vom eigentlichen Problem der initialen Vorschädigung an der Getriebeverzahnung ab.

Um dem Betreiber einer Windenergieanlage oder dem Windenergieanlagenhersteller bei der im speziellen Fall festgestellten Graufleckigkeit eine Unterstützung zu kommen lassen zu können, muss nach einem speziellen Qualitätsstandard geprüft und die Ergebnisse entsprechend dokumentiert werden. Durch die Windexperts Prüfgesellschaft mit sieben Prüfer, (fünf Prüfer sind öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige) wurden mittlerweile weltweit über 7.500 Windenergieanlagen geprüft. Nach den dabei gewonnenen Erfahrungen ist es erforderlich, Graufleckigkeit anhand von Zahnabdrücken, die unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht werden, zu dokumentieren. Hierzu liegen mittlerweile Praxiserfahrungen von etwa 300 bis 400 Abdrücken in den letzten vier Jahren vor. Diese Art der Dokumentation ist für den Betreiber oder Windenergieanlagenhersteller eine aussagekräftige Unter-

stützung, um Gewährleistungsansprüche geltend zu machen. Des Weiteren können die Erkenntnisse frühzeitig in die Weiterentwicklung von Getrieben einfließen.

Beschreibung des REM-Verfahrens

Ein feingebündelter Elektronenstrahl rastert die Probe Zeile für Zeile und Punkt für Punkt ab. Synchron zu dieser Bewegung läuft der Elektronenstrahl einer Bildröhre. Beim Auftreffen des Elektronenstrahls auf einen Punkt der Probe emittiert dieser Elektronen. Mit der Elektronenausbeute wird die Helligkeit des zugeordneten Bildschirmpunktes gesteuert. Hohe Elektronenausbeute auf der Probe ergibt einen hellen Bildpunkt, geringe Elektronenausbeute ergibt einen dunklen Punkt. Dazwischen liegende Werte ergeben fein abgestufte Grautöne.

Wegen des fein gebündelten und annähernd zylindrischen Elektronenstrahls werden sowohl auf hohen als auch auf tiefen Stellen der Probe gleich kleine Punkte zur Elektronenemission angeregt. Dies erklärt die ausgezeichnete Schärfentiefe der rasterelektronenmikroskopischen Bilder. Das Rasterelektronenmikroskop ist ein unentbehrliches Werkzeug bei der Beurteilung von Brüchen und beschädigten Oberflächen. Da es einerseits mit seinen niedrigsten



Abbildung 1: Am Ritzel der Zwischenwelle ist Graufleckigkeit im Zahnfußbereich vorhanden, die sich zum großen Generator hin verstärkt.

igkeit zu Graufleckigkeit. Aus den Zahnflanken brechen Materialteilchen aus, so dass Vertiefungen – genannt Grübchen – entstehen. Merkmale: Auf den belasteten Flanken bilden sich insbesondere bei einsatzgehärteten Rädern feinste Ausbrüche, die bei gehäuftem Auftreten dem Auge als Mattierung der Flanke erscheinen. Im Profilschliff der Zahnflanke zeigen sich feine, schräg einlaufende Flankenrisse von 0,01 bis 0,03 mm Länge, deren oberflächennahe Risskanten teilweise ausbrechen.

Ist Graufleckigkeit eine normale Einlauferscheinung?

Die Erfahrung der letzten Jahre hat gezeigt, dass Graufleckigkeit von unterschiedlichen Interessengruppen als Einlauferscheinung eingestuft wurde und man damit diesem Vorgang wenig Bedeutung beigebracht hat. Dabei ist ein Getriebeeinlauf schon nach wenigen hundert Betriebsstunden abgeschlossen. Somit bleibt die zum Beispiel bei der Garantieabnahme festgestellte Graufleckigkeit (aktive Pittingbildung) ein initialer Schaden, der sich weiter fortsetzen wird. Auch wird die Graufleckigkeit als geringfügig eingestuft, da ihr

weiterer Schadensverlauf oft nur sehr langsam voranschreitet. Aussagen wie „bei der festgestellten Graufleckigkeit handelt es sich um normale Gebrauchsspuren“ sind nicht korrekt und lenken vom eigentlichen Problem der initialen Vorschädigung an der Getriebeverzahnung ab. Um dem Betreiber einer Windenergieanlage oder dem Windenergieanlagenhersteller bei der im speziellen Fall festgestellten Graufleckigkeit eine Unterstützung zu kommen lassen zu können, muss nach einem speziellen Qualitätsstandard geprüft und die Ergebnisse entsprechend dokumentiert werden. Durch die Windexperts Prüfgesellschaft mit sieben Prüfer, (fünf Prüfer sind öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige) wurden mittlerweile weltweit über 7.500 Windenergieanlagen geprüft. Nach den dabei gewonnenen Erfahrungen ist es erforderlich, Graufleckigkeit anhand von Zahnabdrücken, die unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht werden, zu dokumentieren. Hierzu liegen mittlerweile Praxiserfahrungen von etwa 300 bis 400 Abdrücken in den letzten vier Jahren vor. Diese Art der Dokumentation ist für den Betreiber oder Windenergieanlagenhersteller eine aussagekräftige Unter-

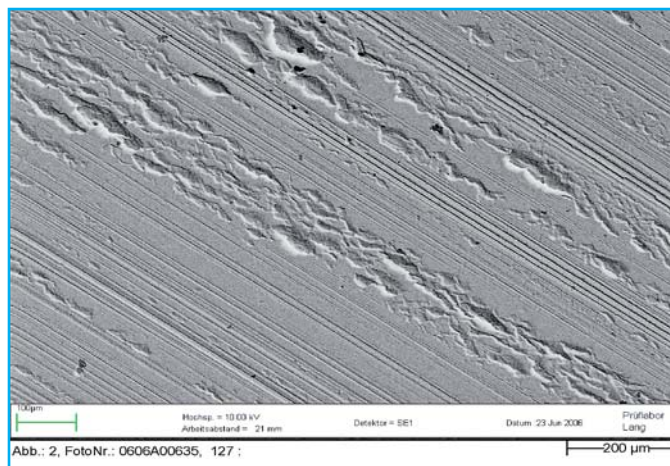
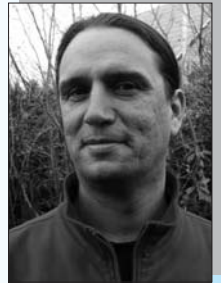


Abbildung 2: Die REM-Auswertung zeigt große Flächen mit Graufleckigkeit und Pittingausbrüchen am Ritzel der Zwischenwelle: Der Verschleiß ist noch aktiv. Es bilden sich ständig frische Ausbrüche. Die Ausbruchstellen haben scharfkantige Ränder.

Vergrößerungen (ab 20fach) Überblicke großer Bereiche erlaubt und andererseits Details bis zu 20.000facher Vergrößerung wiedergeben kann, eignet es sich



Martin Veltrup-Neil

Anschrift des Autors:
Windexperts
Prüfgesellschaft mbH,
Büro Edewecht,
Weidegrund 9,
26188 Edewecht,
Tel. 04486/930838,
Fax 04486/930858,
E-Mail: veltrup-neil@t-online.de



Christoph Weiermann

Anschrift des Autors:
Windexperts
Prüfgesellschaft mbH,
Büro Rotenburg,
Distelweg 18,
27356 Rotenburg,
E-Mail: weiermann@t-online.de

besonders gut zur Auffindung kennzeichnender Merkmale wie eben zum Beispiel der Graufleckigkeit.

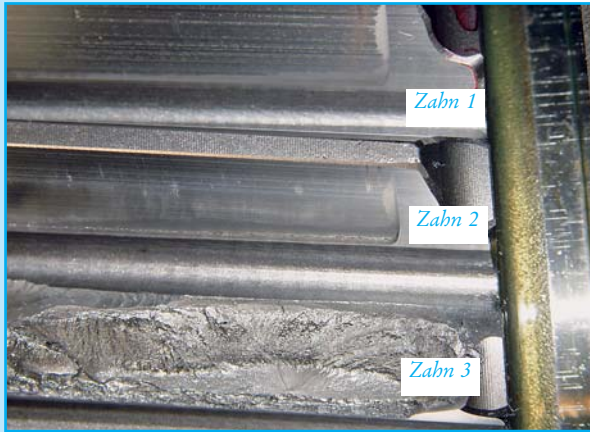


Abbildung 3: Schadensübersicht mit den unterschiedlichen Ausprägungen der Graufleckigkeit.

Zahnbruch durch Graufleckigkeit

Im Folgenden wird die Darstellung einer typischen Gewährleistungsauslaufuntersuchung mit Hilfe der Videoendoskopie und der Zahnflankenzustandsdokumentation durch das Zahnflankenabdruckverfahren an einem Windenergieanlagengetriebe der Megawattklasse näher beschrieben: Die Getriebeuntersuchung fand im Juni 2006 kurz vor Ablauf der Gewährleistungszeit an einem Austauschgetriebe statt. Die Inbetriebnahme der Gesamtanlage erfolgte Mitte 1999, die Laufzeit des Getriebes belief sich zum Prüfungs-

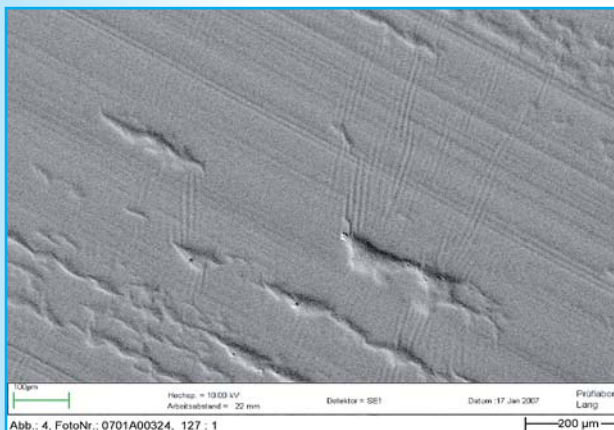


Abbildung 5: Zahn 1/REM-Auswertung: Ritzel der Zwischenwelle: relativ scharf begrenzte frische Pittingausbrüche.

zeitpunkt auf fast zwei Jahre. Am Ritzel der Zwischenwelle befand sich im Zahnfuß Graufleckigkeit (Abbildung 1), die sich zur Generatorseite hin verstärkte. Da die Graufleckigkeit bereits in deutlicher Ausprägung vorhanden war, wurde ein Zahnabdruck für die REM-Untersuchung (Abbildung 2) erstellt. Das Ergebnis war eine aktive Pittingbildung

auf der Zahnflanke. Auch in diesem Fall wurde die festgestellte Graufleckigkeit aus Sicht des Windenergieanlagenher-

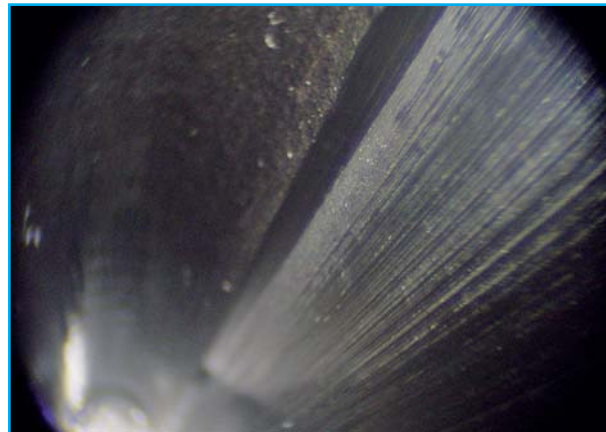


Abbildung 4: Zahn 1 (voreilender 2. Nachbarzahn zum Zahn mit Zahnbruch)/Videoendoskop: Ritzel Zwischenwelle: Graufleckigkeit im Zahnfuß nach Augenschein mit ähnlicher Schadensausprägung wie schon im Sommer 2006 untersucht.

stellers als „normaler Verschleiß“ eingestuft. Nur fünf Monate später, also im Dezember 2006, kam es zum Totalausfall des Getriebes durch einen Schwingbruch (auf fast 75 % der Zahnflankenbreite), der sich aus der Graufleckigkeit im Zahnfuß weiterentwickelt hatte. Es wurde erneut ein Zahnabdruck für die REM-Untersuchung erstellt. In Abbildung 3 sind die unterschiedlichen Schadensausprägungsstufen der Graufleckigkeit zu erkennen. Am Zahn 1 entspricht die Ausprägung der Graufleckigkeit (siehe auch Abbildung 4 und REM-Auswertung Abbildung 5) unge-

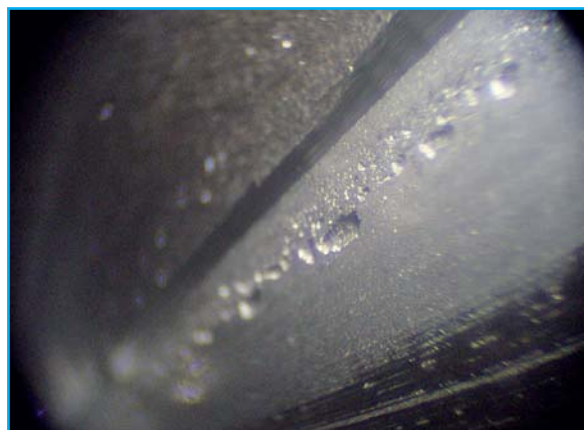


Abbildung 6: Zahn 2 (voreilender 1. Nachbarzahn zum Zahn mit Zahnbruch)/Videoendoskop: Ritzel Zwischenwelle: Graufleckigkeit im Zahnfuß mit deutlich sichtbaren großen tiefen Pittingausbrüchen.

fähr der Ausprägung der Graufleckigkeit, wie sie schon im Sommer 2006 als Initialschaden dokumentiert wurde. Am Zahn 2 ist bereits eine ohne Hilfsmittel wie zum Beispiel in dem Makrobereich des Videoendoskops erkennbar eine sichtbare Pittingbildung vorhanden (Abbildung 6 und REM-Auswertung,

Abbildung 7), von der die Schwingbrüche weiter in die Tiefe der Zahnflanke gehen. Aus diesen Pittings

werden bei weiterem Betrieb des Getriebes innerhalb eines kurzen Zeitraums größere zusammenhängende Pittings. Als Folge daraus können sich dann Zahnflankenausbrüche bis hin zum Zahnabbruch entwickeln. Am Zahn 3 sind innerhalb des auf zirka 75 % der Zahnbreite erkennbaren Zahnabbruchs (Abbildung 8) deutlich die Schwingbruchstrukturen erkennbar. Durch den unplanmäßigen Getriebeaustausch und die Ertragsausfälle entstanden insgesamt sehr hohe

vermeidbare Kosten.

Was tun bei Graufleckigkeit?

Nicht jede Form der Graufleckigkeit wird zu einem sofortigen und unmittelbaren Getriebeausfall führen. Der weitere Schadensablauf ist von Faktoren wie Lage, Form, Position und Ausprägung der Graufleckigkeit auf der Zahnflanke usw. abhängig. Jedoch ist durch jede Graufleckigkeit ein Mangel (Abweichung vom Sollzustand) auf der Verzahnung vorhanden. Die weitere Vorgehensweise wie zum Beispiel ein sofortiger

Getriebeaustausch oder eine weitere regelmäßige Kontrolle ist von Fall zu Fall unterschiedlich vom Gutachter zu bewerten.

Bei der schon bei vielen Anlagen durchgeführten „begleitenden Überwachung der Graufleckigkeit“ wird durch den Gutachter an Hand von REM-Untersuchungen (Zahnabdruck) in Kombination mit dem Videoendoskop der weitere Schadensverlauf dokumentiert. Es wird dann entweder ein Getriebeaustauschtermin festlegt oder ein Zeitraum bis zur nächsten Graufleckigkeitskontrolle benannt. Das begleitende Prüfverfahren dient dem Betreiber gegenüber dem Anlagenhersteller oder dem Anlagenhersteller gegenüber dem Getriebehersteller als Werkzeug für weitere Entscheidungen.

Wirksamkeit von Ölen

Die Getriebeauslegung, Konstruktion, Fertigungsmodifikationen (Zahnkorrekturen), das verwendete Öl und die tatsächlichen Belastungen sind bei der in der Praxis vorzufindenden Graufleckigkeit die maßgebenden Einfluss-

bes haben oder zum Getriebetotalausfall führen. Auch die Verwendung von Hochleistungsgetriebeölen schützt nicht vor jeder Art der Ausprägung von Graufleckigkeit. Aussagen, dass derartig getestete Hochleistungsgetriebeöle Graufleckenbildung praktisch ganz ausschließen, können gravierende Folgen für den Betreiber haben. Es soll allerdings nicht

Öle haben bei bestimmten Zahneingriffsverhältnissen, an denen Graufleckigkeit sehr flächig aufgetreten ist, sogar nachträgliche Verbesserungen der Graufleckigkeit (Verrundungen) gezeigt. Ein Hochleistungsgetriebeöl darf nur nicht als einzige Lösung gegen Graufleckigkeit gesehen werden. Das Auftreten von Graufleckigkeit (Poren,

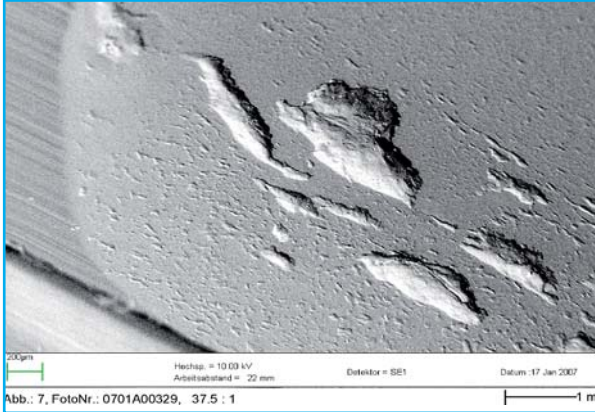


Abbildung 7: Zahn 2/REM-Auswertung.: Rand der Zone der Graufleckigkeit, Übergang zur geschliffenen Oberfläche: Sehr tiefe Pittingausbrüche: In den Ausbrüchen sind noch Schwingbruchstrukturen zu erkennen.

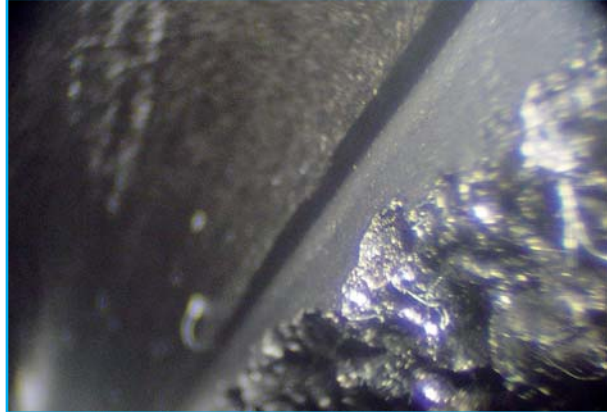


Abbildung 8: Zahn 3 (Zahnbruch)/Videodendoskop: Ritzel Zwischenwelle: Zahnbruch auf ca. 75 % der Zahnbreite. Mit dem Videodendoskop sind deutlich die Ausgangspunkte, Pittingansätze im Zahnfuß zu erkennen, von denen der Schwingbruch ausgegangen ist.

faktoren. Werden hier Fehler gemacht, kommt es zu ungewollten Lasterhöhungen auf den Zahnflanken und somit zu Schäden, die oftmals mit Graufleckigkeit beginnen und erhebliche Auswirkungen auf die Lebensdauer des Getrie-

der Eindruck entstehen, dass ein gutes Öl keinen Einfluss auf das Graufleckenverhalten hat. Die Stärken dieser Öle liegen darin, das Auftreten von Mischreibung auf der Zahnflanke positiv zu beeinflussen und zu reduzieren. Gute

Feinstausbrüche, Micropitting) bleibt weiterhin ein initialer Schaden, der nicht dem Sollzustand eines Getriebes entspricht, auch wenn mit nachträglich eingesetzten Hochleistungsölen teilweise Verbesserungen erzielt werden. ■