

Ist Graufleckigkeit in Windturbinengetrieben auf die Dauer unvermeidbar oder kann mit speziellen Ölen etwas dagegen getan werden? Ein Beitrag von Martin Stöckl

Initialschäden an Getrieben sind vermeidbar

Initialschäden wie Graufleckigkeit treten in Windturbinengetrieben mitunter schon nach kurzer Betriebsdauer auf. Graufleckigkeit ist zwar auch von herkömmlichen Industriegetrieben bekannt, jedoch viel seltener und weit weniger ausgeprägt. Vor allem aber tritt sie hier nicht nach schon so kurzer Betriebsdauer auf. Die Gründe für dieses unterschiedliche Verhalten müssen wohl an den besonderen Betriebsparametern liegen, denen die Windturbinen ausgesetzt sind.

Mitunter wird dies auch auf Überlast bei Starkwind zurückgeführt. Dem widerspricht allerdings das Erscheinungsbild auf den belasteten Zahnflanken, dem so genannten Zahnspiegel. Der Zahnspiegel entsteht durch das Einglätten der Oberflächenrauigkeiten. Die Zahnflanken sind dann metallisch blank bis hochglänzend. Die Bearbeitungsriefen sind weitgehend eingeglättet und nicht mehr sichtbar. Bei hohen Lasten an den Zahnflanken würde sich hier ein sehr deutliches Tragbild ergeben. Das Erscheinungsbild an den Zahnflanken von Windturbinengetrieben sieht jedoch meist anders aus. Der Zahnspiegel ist noch nicht allzu stark ausgeprägt, die Bearbeitungsspuren sind noch deutlich zu erkennen, und trotzdem hat sich schon Graufleckigkeit gebildet. Die Ursache für die sehr zeitige Graufleckenbildung muss dann wohl eher im Bereich der Wirkungsweise und im Aufbau der Triboschutzschichten der eingesetzten Öle gesucht werden.

Um diese Triboschutzschichten an den Zahnflanken aufbauen zu können, müssen entsprechende Reaktionen stattfinden. Und diese Reaktionen finden nur unter bestimmten äußeren Bedingungen statt. Die Betriebsparameter an den Windturbinen haben ein sehr großes Spektrum. Sie reichen von niedriger Temperatur und wenig Last bis hin zu hoher Temperatur und hoher Last. Dazwischen liegen alle denkbaren Verhältnisse. Das Kennfeld für die Wirkungsweise der Triboschutzschichtbildung ist also weit größer als bei den üblichen Laborversuchen, in denen die Öle auf Graufleckenbeständigkeit getestet werden.

Bei der Graufleckigkeit handelt es sich im wesentlichen um einen schmierstoffbedingten Zahnflankenschaden, der an oberflächengehärteten Verzahnungen auftritt. Die matt erscheinenden Flächen bestehen aus einer Vielzahl von

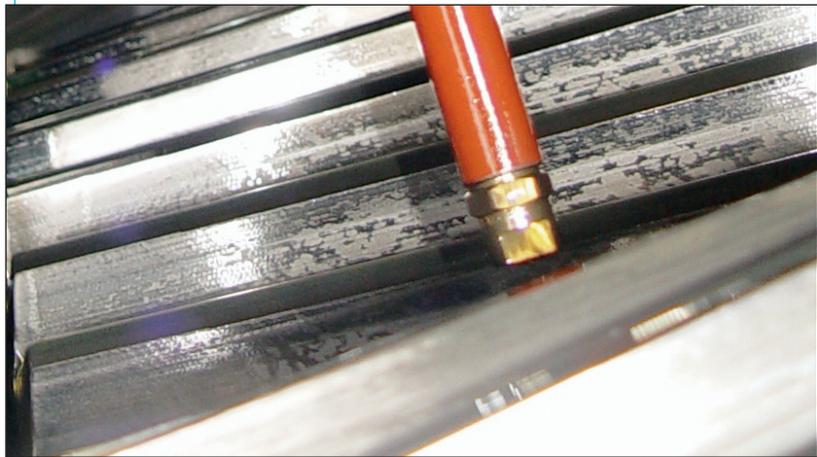


Abbildung 1: Graufleckigkeit nach 5 Jahren Einsatz mit herkömmlichem CLP-Öl

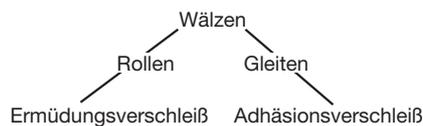
feinsten Poren und Ausbrüchen. Durch diese Initialschäden können später zusammenhängende, großflächige Ausbrüche entstehen, die zur kompletten Zerstörung der Verzahnungen führen. Ferner bewirken die feinsten Ausbrüche auch harte Fremdkörperdurchgänge, was wiederum zu einer weiteren Schädigung der oberflächengehärteten Zahnflanken führt.

Bei der Graufleckigkeit sowie der möglicherweise damit zusammenhängenden, später auftretenden kompletten Zerstörung handelt es sich um einen betriebsbedingten Zahnflankenschaden, da Graufleckigkeit auch dann auftritt, wenn die Belastung weit unterhalb der rechnerischen Ermüdungsgrenze des Werkstoffes liegt.

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Gruppen von Zahnschäden, welche unmittelbar durch den Schmierstoff beeinflusst werden können:

- Adhäsion – mit Verschleiß und Riefenbildung bis Fressen,
- Ermüdung – mit Grübchenbildung und Graufleckigkeit.

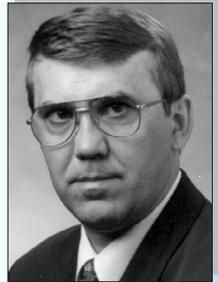
Diese beiden Schadenarten reduzieren die Getriebelebensdauer, da sie einen progressiven Schadensfortgang haben.



An den Zahnflanken liegen mit der Roll- und Gleitbewegung zwei sich überlagernde unterschiedliche Werkstoffbelastungen vor. Beim Rollen entsteht eine ständige Be- und Entlastung des Werkstoffes, wodurch die Elastizitätsgrenzen überschritten werden können. Die Tangentialkräfte setzen

sich als Schubspannung reibungsabhängig im Werkstoffgefüge fort. Der niedrige Reibwert eines Hochleistungsöls verbessert somit die Pittingfestigkeit und das Graufleckenverhalten. Tritt Pittingbildung auf, so ist die Wälzfestigkeit der Zahnflanken örtlich oder über die ganze Fläche überschritten. Man spricht von Werkstoffermüdung. Aus den Zahnflanken brechen Materialteilchen aus, so dass Vertiefungen – so genannte Grübchen oder Pittings – entstehen.

Auch bei der Mikropittingbildung entstehen beim Herausreißen eines Partikels am Bruchrand Zungen. Des Weiteren bilden sich an diesen Bruchrändern feinste Anrisse, die in die Tiefe des Werkstoffes gehen. Zusätzlich entstehen an den Zungen noch leichte Oberflächenerhöhungen. Beim weiteren Betrieb werden diese Erhöhungen sehr hoch belastet, da die Kraft nur an diesen exponierten Stellen übertragen wird. Gleichzeitig wird durch die Pressung im Zahneingriff das Öl mit Hochdruck in die Risse gepresst. Dadurch kann es zu



Dipl.-Ing. (FH)
Martin Stöckl

Anschrift des Autors:
Sachverständigenbüro
Stöckl,
Karl-Theodor-Str. 10,
85123 Karlskron,
Tel. 0172/8944223,
Fax 08450/923869

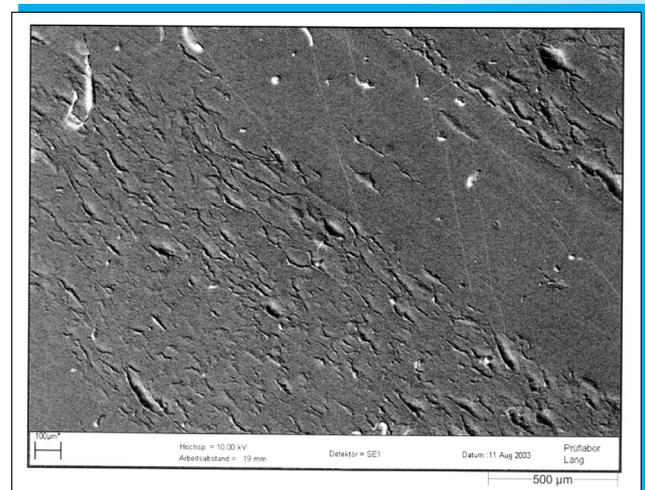


Abbildung 2: Rasterelektronische Aufnahme von Abbildung 1

einer weiteren Zunahme der Mikropittingbildung kommen, wodurch sich die Schadenszone und die Zerstörung der einsatzgehärteten Oberfläche vergrößern.

Mitunter verändert sich die Graufleckenfläche allerdings nicht. Man glaubt, die Graufleckenbildung mit Mikropittingbildung sei abgeschlossen. Doch in der Schadenszone geht der Zerstörungsprozess für das Auge kaum sichtbar weiter. An den feinsten Rissen und noch erhabenen Bruchrändern geht der zuvor beschriebene Zerstörungsprozess weiter, bis in der Schadenszone die Kontaktfläche zur Kraftübertragung deutlich reduziert wird.

Dadurch hat sich auch die rechnerisch ermittelte Fläche zur Kraftübertragung verringert. Die noch zur Verfügung stehende Fläche muss daher spezifisch mehr Belastung aufnehmen, wodurch auch die noch intakten Flächen frühzeitig aufgrund der nun sehr hohen Belastung ermüden, und die vorzeitige Pittingbildung einsetzt. Ist die Schadenszone aufgrund der Graufleckigkeit dann hinreichend zerklüftet, können sich keine hydrodynamischen Bedingungen mehr aufbauen. Es kommt zur metallischen Berührung und zur Zerstörung der Zahnflanken.

Auch die Anrisse in der Schadenszone wachsen weiter, bis schließlich großflächige Materialteilchen in typischer Dreiecksform ausbrechen. Dabei können die Teilchen noch sehr kostenintensive Folgeschäden an weiteren Verzahnungsteilen und Wälzlagern verursachen. Spezielles Hochleistungsöl mit einer PD-Wirkung (Plastisch Deformierend) verrundet diese scharfkantigen Ausbrüche, glättet die Oberflächen ein und erhöht damit wieder die Traganteile. Beim Gleiten im Misch-

reibungsgebiet kommt es durch die unzureichenden hydrodynamischen Bedingungen zu Werkstoffberührungen. Dieses kann – je nach Belastung - bis zum Materialverschweißen und somit Fressen führen. Die Triboschutzschichten von Hochleistungsölen verhindern dieses in allen Lastbereichen. Die Fließeinglättung erhöht ebenfalls den Traganteil, wodurch die spezifische Flächenpressung reduziert wird. Der Verschleiß kann in Form von Kratzern, Riefen, Fressern und Ähnlichem auftreten. Diese Verschleißformen entstehen durch Materialabtrag, aber auch durch Verunreinigungen.

Die Reaktionsschichten von diesen Ölen unterscheiden sich deutlich von denen herkömmlicher Getriebeöle. Die Triboschutzschichten verhindern die Adhäsion und damit das Fressen. Das Schadensbild wird gestoppt und die Zahnflankenqualität zurückgeführt oder deutlich sichtbar verbessert.

Bei Auftreten von Graufleckigkeit empfiehlt sich die Verwendung von einem Hochleistungsgetriebeöl mit der plastischen Deformations-Technologie. Diese belastungsaktive Additivkombination ist feststofffrei. Gegenüber herkömmlichen Getriebeölen unterscheidet es sich durch seinen sehr niedrigen Reibwert, die Eigenschaft der plastischen Oberflächeneinglättung sowie Aufbau und Funktion der grenzflächennahen Reaktionsschichten. Hierdurch ergibt sich ein optimaler Schutz gegen Verschleißprobleme wie Abrieb bis Fressen sowie gleichermaßen gegen Oberflächenermüdung wie Pittingbildung und Graufleckigkeit.

Die Oberflächenveränderung findet nahezu abtragsfrei statt, so dass die Toleranzen praktisch unverändert bleiben. Die Temperatur sinkt aufgrund des

guten Reibverhaltens. Weiterhin erhöhen sich die Traganteile aufgrund von Einglättung, was wiederum zur Verringerung der Hertzchen Pressung führt. Dadurch reduziert sich nochmals Temperatur und erhöht somit die Lebensdauer des Schmierstoffes. Hauptvorteil ist vor allem aber die Verlängerung der Lebensdauer der Verzahnungsteile. Noch besser wäre natürlich der Einsatz solcher Öle bereits bei Neugetrieben, so dass diese Initialschädigung erst gar nicht auftreten kann.

Die Wirkungsweise schützt nicht nur Zahnflanken, sondern auch die Wälzlager besonders im unteren Lastbereich. Hier führen Anreicherungen an den Laufbahnen und Wälzkörpern zu vorzeitigen betriebsbedingten Lagerausfällen. Anreicherungen entstehen, wenn die Wälzkörper aufgrund geringer Last einen hohen Gleitanteil haben. Dadurch kann es zur metallischen Berührung und damit Materialübertrag kommen. Dabei entstehen feinste Anrisse, die der Ausgangspunkt für frühzeitigen Lagerausfall sind. Die Triboschutzschichten von Hochleistungsölen können diese Schadensursache auch an den Wälzlagern verhindern.

Hochleistungsöle besitzen außerdem im Vergleich zu herkömmlichen Getriebeölen eine überdurchschnittlich lange Einsatzdauer. Auch hier gilt wie ähnlich wie bei Initialschäden an den Rotorblättern, dass durch rechtzeitiges Erkennen und Handeln hohe Folgekosten vermieden werden können.

Gerade das rechtzeitige Erkennen dieser Initialschäden ist wichtig. Der Materialabtrag durch Graufleckigkeit (Flankenformabweichung) liegt in der Größenordnung von 0,01 mm. Solche Flankenformabweichungen lassen sich mit den zur Zeit bekannten Mess-

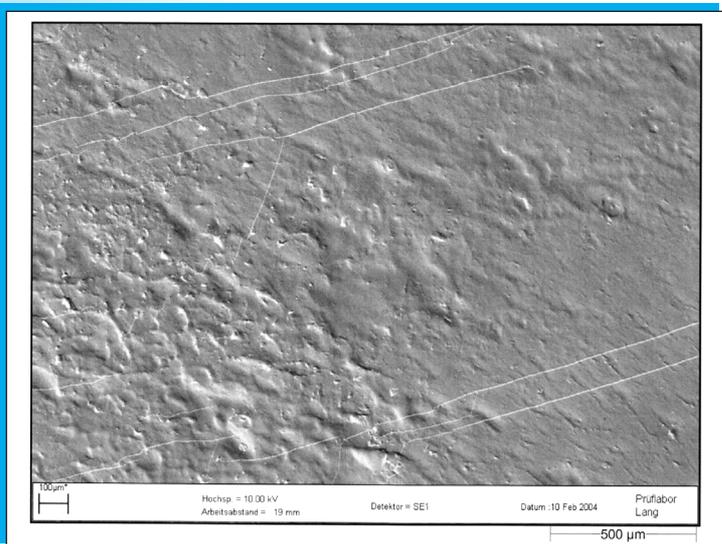


Abbildung 3: Rasterelektronische Untersuchung der Zahnflanke von Abbildung 1 nach zirka 5.000 h Einsatz von Hochleistungsöl mit plastisch deformierender Wirkung. Ehemalige Ausbrüche sind weitgehend auspoliert und zum Teil wieder einglättet.

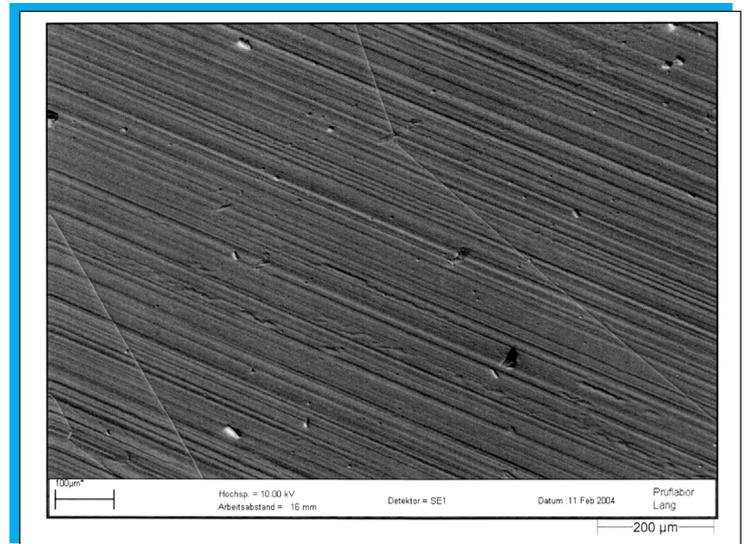


Abbildung 4: Zahnflanke; REM-Aufnahme nach ca. 1.000 h Einsatz mit herkömmlichem CLP-Öl, beginnende Mikroanrisse und Pittingbildung bereits sichtbar (Fehlstellen sind untersuchungstechnisch bedingt), kaum Glättung

methoden im Condition Monitoring auch als Onlinesystem so gut wie nicht darstellen. Auch die Ölanalyse liefert nicht zwangsläufig über einen erhöhten Metallgehalt einen Hinweis auf Graufleckigkeit, da der spezifische Gehalt an Metallabrieb unter den üblichen Grenzwerten liegen kann. Es bleibt also als einziges Diagnosemittel die visuelle Zustandskontrolle des Getriebeinnenlebens.

Bei einem weit fortgeschrittenen Zahnflankenschaden bleibt nur der Austausch von Verzahnungsteilen: Dies ist auf einer Windturbine äußerst schwierig, mitunter sogar unmöglich. Dann bleibt nur noch der Austausch des gesamten Getriebes. Damit verbunden kann eine langwierige und kostenintensive Betriebsunterbrechung an geographisch schwer zugänglichen Stellen sein.

Untersuchungen aus der Praxis

Versuche aus der Praxis haben überraschende Ergebnisse gezeigt (Abbildungen 2-5). Selbst an bereits deutlich durch Graufleckigkeit auffälligen Zahnflanken konnte der weitere Zerstörungsprozess durch Einsatz von Hochleistungsölen mit plastisch deformierender Wirkung gestoppt werden. Die Unregelmäßigkeiten ließen sich zum Teil wieder deutlich zurückbilden. Die Randüberhöhungen wurden unter plastischer Deformation eingeglättet. Auch Risse wurden durch diese Verformungen wieder verschlossen. Auch an neuen Getrieben wurden schon nach zwei Monaten unterm Rasterelektronenmikroskop deutliche Unterschiede im Vergleichstest von herkömmlichen Ölen zu Hochleistungsölen festgestellt. Während beim herkömmlichen Öl schon nach dieser kurzen Zeit erste Anzeichen von feinsten Rissbildung und beginnender Mikropittingbildung aufgetreten sind, haben sich die fertigungsbedingten Oberflächenrauigkeiten beim Einsatz von Hochleistungsölen zum Teil schon eingeglättet und damit den Traganteil an den Zahnflanken erhöht. Dabei konnten keinerlei Anzeichen von beginnenden Initialschädigungen festgestellt werden.

Fazit

Das einzige, was der Betreiber einer Windkraftanlage an seinem Getriebe noch beeinflussen kann, ist die Auswahl des Öles. Und mit dem richtigen Schmierstoff kann die Lebensdauer des Getriebes entscheidend beeinflusst werden. Allerdings muss dann

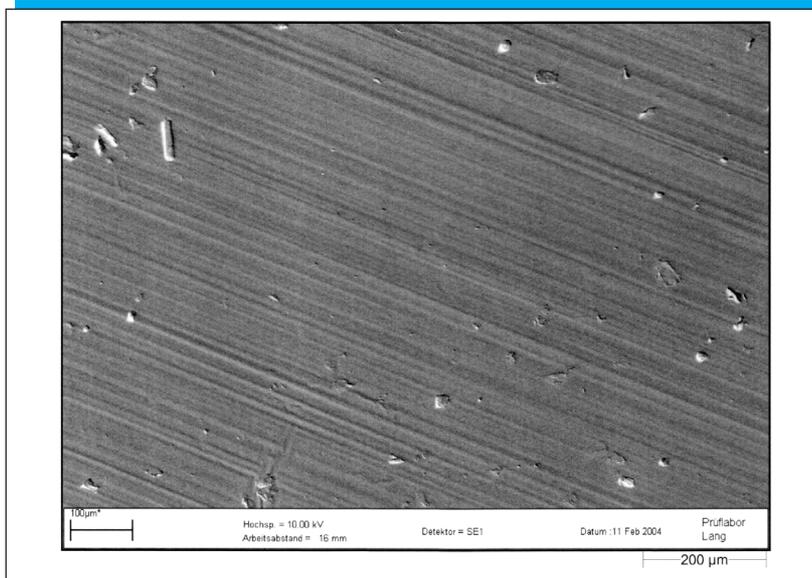


Abbildung 5: Zahnflanke; REM-Aufnahme nach ca. 1.000 h Einsatz mit Hochleistungsöl mit plastisch deformierender Wirkung (Fehlstellen sind untersuchungstechnisch bedingt), Glättung und Auspolitur der Bearbeitungsriefen sind bereits erkennbar

der ausgewählte und eingesetzte Schmierstoff auch seine Eigenschaften in der Praxis erbringen. Laborergebnisse reichen hier nicht aus. ■

Literatur:

Grundlagen zu Reibung und Verschleiß; Polzer, Meißner; VEB Deutscher Verlag
 An Atlas of Metall Damage; L. Engel, H. Klingele
 Maschinenelemente, Bd. II; Niemann, Winter, Springer-Verlag
 DIN 3979 Zahnschäden an Zahnradgetrieben

OEVERMANN

Qualität aus Tradition.

Wir arbeiten schnell wie der Wind, damit andere ihn nutzen können.

K+G Agentur für Kommunikation www.k-und-g.net

**Hoch- und Ingenieurbau
Straßen- und Tiefbau
Schlüsselfertiges Bauen**

Hauptverwaltung Münster
 Oevermann GmbH & Co. KG
 Hoch- und Tiefbau
 Münster-Ingenieurbau
 Robert-Bosch-Str. 7-9 · 48153 Münster
 Fon 02 51/76 01-0 · Fax 02 51/76 01-345
 Internet: www.oevermann.com
 E-Mail: info@oevermann.com

Niederlassungen:
 Dortmund, Düren, Osnabrück, Hamburg,
 Gütersloh, Braunschweig, Halberstadt,
 Berlin, Eisenhüttenstadt, Leipzig/Halle

Spannbeton Oevermann
 Schlüsselfertiges Bauen, Fertigteilbau,
 Industrie- und Gewerbebau

Oevermann Polen
 Oevermann Niederlande

www.oevermann.com

Wissenschaft
und Technik