

Effiziente Zustandsüberwachung von Getrieben

Metallpartikelmesssystem für die Anwendung in umlaufgeschmierten Getrieben



Stefan Leske

Produktionsrelevante Getriebe werden heute noch häufig auf Basis von Erfahrungswerten oder Wartungsanleitungen der Hersteller in festen Zeitabständen einer Revision unterzogen. Oftmals ist aber nach der Demontage der Getriebe sowohl an den Lagern als auch an der Verzahnung kein Verschleiß festzustellen, welcher einen baldigen Ausfall des Getriebes hätte befürchten lassen. Die kostspielige Revision wäre noch nicht nötig gewesen (Bild 1).



Autor: Dipl.-Ing. Stefan Leske ist Geschäftsführer der momac GmbH & Co. KG in 47441 Moers

Die Revision wird dann oft mit der Erhöhung der Betriebssicherheit des Getriebes begründet (vorbeugende Instandhaltung). In Zeiten steigenden Kostendruckes ist dies aber kaum noch zu rechtfertigen, da auch durch eine vorzeitige Revision keine 100-prozentige Ausfallsicherheit erreicht werden kann. Gefordert sind daher Methoden, mit denen die Lebenszeit von Komponenten möglichst kostenoptimal ausgeschöpft werden kann, ohne die Verfügbarkeit der Anlagen unnötig zu reduzieren oder gar zu gefährden.

Bekannte Ansätze

Das erforderliche Werkzeug heißt Maschinendiagnose. Daher kommen heute mehr und mehr Untersuchungsmethoden zum Einsatz, mittels deren Hilfe versucht wird, auf den tatsächlichen Zustand des Getriebes zu schließen. Hierzu gehören bei Getrieben insbesondere die Endoskopie, die Schwingungsmessung sowie Öluntersuchungen.

Eine Reparatur soll nur noch bei erkennbaren Schädigungen durchgeführt werden. Aber gerade hier liegt das Problem! Wie kann zuverlässig und mit vertretbarem Kos-

1: Einer Anlage ist mit bloßem Auge nicht anzusehen, wann die nächste Revision erforderlich ist

tenaufwand sichergestellt werden, dass eine Schädigung möglichst früh erkannt wird, und zugleich Fehldiagnosen ausgeschlossen sind? Mögliche Methoden hierfür sind:

- **Spektrografische Ölanalyse:** Diese erfordert eine periodische Probenentnahme, wenn möglich immer an der gleichen Stelle und unter gleichen Betriebsbedingungen. Auch wenn diese Parameter eingehalten werden, sind die Ergebnisse dennoch recht unstetig. Diese Ölanalysen ermöglichten daher bisher nur Aussagen über die Qualität des Öls bezüglich Viskosität, Wassergehalt, Verunreinigungen usw., woraus aber nicht direkt auf den Zustand des Getriebes geschlossen werden kann.

- **Optische Partikelzähler:** Sie sind sehr effektiv zur Bestimmung der Ölreinheit, aber zu unempfindlich zur Erkennung von Schäden an Lagern und Verzahnung.

- **(Video-)Endoskopie:** Diese kann nur zyklisch und an stehenden Getrieben durchgeführt werden. Die Ergebnisse hängen zudem stark von der Erfahrung und der Sorgfalt des „Endoskopisten“ ab. Für die laufende Überwachung von Getrieben ist sie daher nur bedingt geeignet, wohl aber für eine weitergehende optische Schadensbeurteilung.

- **Schwingungsanalysen:** Sie bieten die Möglichkeit, im laufenden Betrieb Schäden an Lagern oder Verzahnungen zu erkennen. Mit der Offline-Schwingungsmessung kann aber nur der momentane Getriebezustand untersucht werden, eine zuverlässige Trendaussage – gerade bei unterschiedlichen Betriebszuständen des Getriebes – ist nicht möglich! Zudem erfordern die eingesetzten Analyseverfahren neben der Zugänglichkeit des Getriebes besonders geschultes Personal oder gar externe Dienstleister, was zu erheblichen Kosten führen kann.

Online-Schwingungsmesssysteme leisten hier mehr. War es noch vor wenigen Jahren erforderlich, dafür kaum bezahlbare Messtechnik zu erwerben, sind die Hardwarekosten heute nicht mehr der entscheidende Faktor. Durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Schwingungen können, anders als bei Offline-Messungen, Tendenzen gebildet werden. Gleiche Betriebszustände können gesucht und miteinander verglichen wer-

den. Häufig wird jedoch vergessen, dass die Qualität der Maschinendiagnose nicht nur von der eingesetzten Messtechnik, sondern vor allem von der Qualifikation des analysierenden Experten abhängt. In den meisten Online-Condition-Monitoring-Systemen läuft zwar ein Großteil der schwingungsdiagnostischen Aufgaben automatisiert ab, doch auch hier kann in der Regel nicht auf den Experten verzichtet werden, insbesondere dann, wenn eine Aussage über die quantitative Schadentwicklung gefordert ist. Die Parametrisierung der Online-Systeme stellt den Endkunden vor weitere Herausforderungen. Zur Erreichung belastbarer Aussagen sollten Referenzwerte des ungeschädigten Getriebes vorliegen. Dies ist bei der Nachrüstung von Schwingungsmesssystemen aber oftmals nicht gegeben.

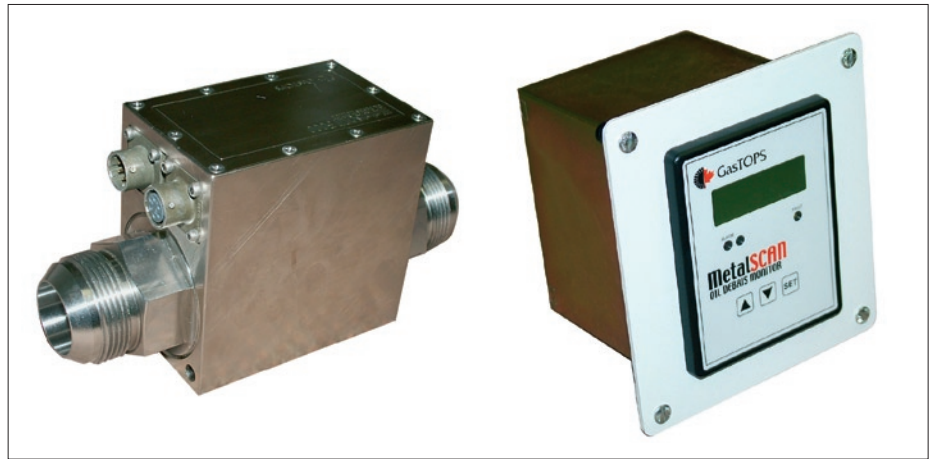
Der andere Ansatz

Einen anderen Ansatz verfolgt das System Metalscan 3000, eine in Kanada entwickelte Online-Überwachung für ölumlaufgeschmierte Getriebe, welche in Deutschland von momac vertrieben wird. Sie unterscheidet sich grundlegend von den bekannten Partikelzählern. Metalscan wurde ursprünglich für die Luftfahrt-, Marine- und Gasturbinentechnik entwickelt und arbeitet mit einem induktiven Messverfahren. In über 1 200 Installationen mit über 12 Millionen Stunden sicheren Betrieb hat das System seine Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt. Nun ist Metalscan auch in einer preiswerten Industrieversion erhältlich (Bild 2).

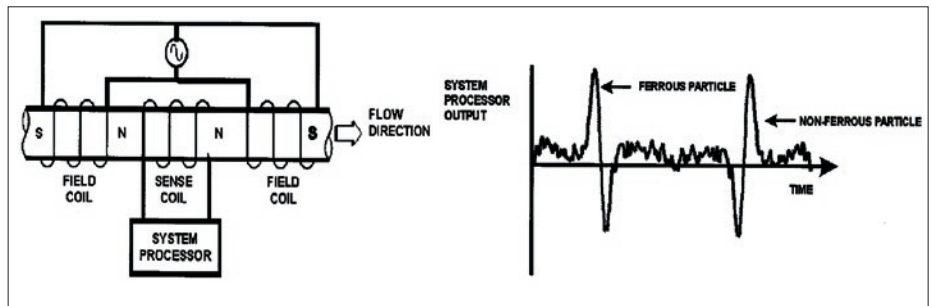
Die Funktion

Metalscan basiert auf einer bestechend einfachen Logik: Verschleiß oder Schädigung von Lagern und Verzahnungen erzeugt bereits Monate vor einem Ausfall Metallabrieb. Dieser Metallabrieb wird von Metalscan quantitativ und sicher erfasst. Damit können an jedem Getriebe bereits kleinste Schädigungen ohne besonderes Auswerte-Know-how des Betreibers sicher erkannt werden. Das induktive Messverfahren ist in der Lage, sowohl Eisen- als auch Nichteisenpartikel zu detektieren. Zwei Spulen erzeugen hierzu im Sensor ein neutrales Feld. Metallische Partikel von Lagern oder von Zahnrädern fließen mit dem Ölstrom durch den Sensor und verursachen eine Veränderung des neutralen Feldes, welches durch eine dritte Spule registriert wird (Bild 3). Die so erzeugten Signale entsprechen der Anzahl der durch den Sensor geflossenen Metallpartikel.

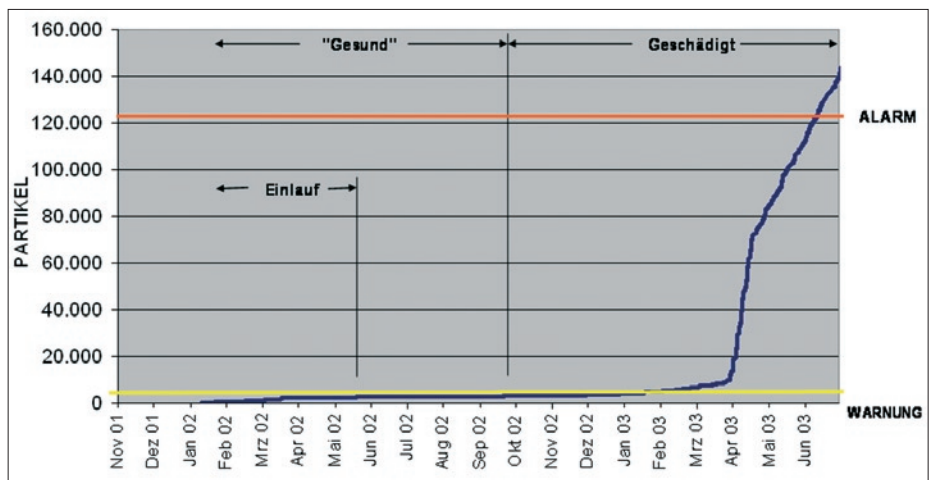
Abhängig vom Sensordurchmesser (von 8 bis 25 mm) werden Eisenpartikel von minimal 125 bzw. 260 µm gezählt. Die Sensorauswahl ist abhängig vom jeweiligen Volumenstrom. So darf der Volumenstrom des 8 mm-Sensors zwischen 0,5 und 50 Liter/Minute



2: Metalscan-Sensor und -Alarmmodul



3: Funktionsschema des Sensors



4: Schadensverlauf anhand der gezählten Metallpartikel

betragen, der des 25 mm-Sensors hingegen zwischen 10 und 1 000 Liter/Minute.

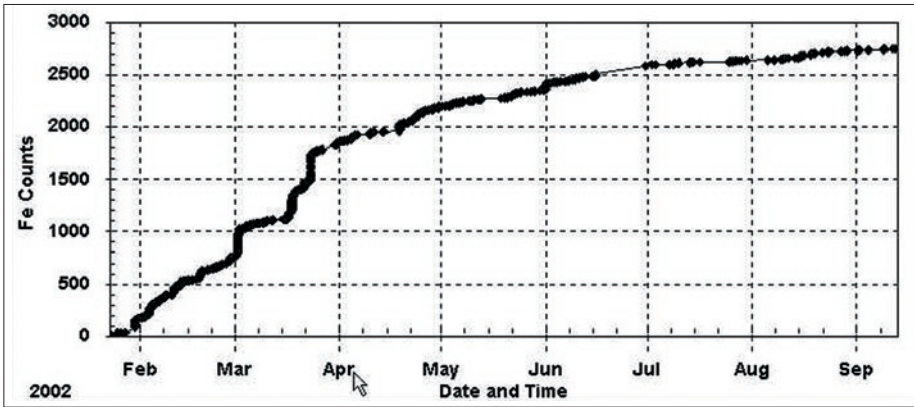
Die Anzahl der gescannten Metallpartikel korreliert direkt mit der Schädigung. In einem „gesunden Getriebe“ der MW-Klasse werden z. B. zirka 60-200 Metallpartikel pro Monat gezählt, ein kurz vor dem Ausfall laufendes Lager erzeugt zirka 1 500 Metallpartikel pro Tag!

Entscheidend sind dabei weniger die absolut gezählten Metallpartikel, sondern viel mehr die Steigerung der Metallpartikel innerhalb eines definierten Zeitraumes. Der nachträgliche Einbau in bereits „geschädigte“ Getriebe ist daher zu jedem Zeitpunkt möglich, auch wenn der Vorschädigungsgrad nicht bekannt ist!

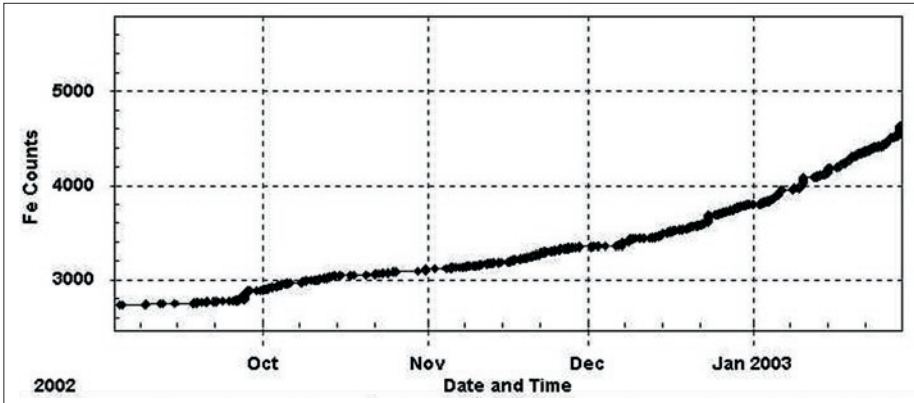
Der Einbau

Der Einbau des Sensors erfolgt im Ölumlauf eines Getriebes und zwar in die Rücklaufleitung vor dem Filter, so dass jeder Partikel nur einmal gezählt wird, bevor er ausgefiltert wird. Dadurch ist der Einsatz des Metalscan-Sensors unabhängig von der jeweiligen Ölmenge.

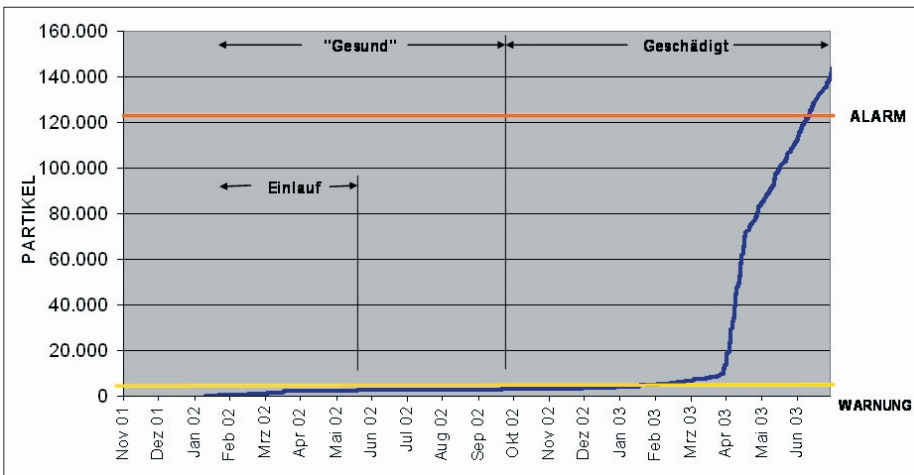
Durch den nachträglichen Einbau eines Nebenstromfilteraggregates ist es möglich, Metalscan auch an Getrieben zu installieren, die über keine Ölumlaufrschmierung verfügen. Hierdurch wird nicht nur der Getriebezustand effektiv überwacht, sondern auch die Ölqualität durch die zusätzliche Filtration gesteigert.



5: Einlaufphase eines Getriebes mit Metalscan aufgezeichnet



6: Partikelanstieg nach Initialschaden



7: Schadenverlauf bis zum Ausbau



8: Schadensverlauf am Planetenlager, Innenring und Laufkörper

Bei großen Rohrdurchmessern, die eine Installation direkt in die Leitung aufgrund des Staudrucks nicht zulassen, ist es möglich das System mit Hilfe entsprechender Adapter zu installieren.

Die Fehlererkennung

Wie bereits erwähnt, korrelieren die Anzahl der gezählten Metallpartikel direkt mit der Schadenentwicklung. Die Darstellung der

Anzahl der gezählten Metallpartikel über der Zeit gibt daher ohne weitere Auswertung und Expertenkenntnisse eine klare Aussage über die Schadensentwicklung (Bild 4). Dabei ist die Auflösung des Messsystems so fein, dass auch die Einlaufphase eines Getriebes überwacht werden kann (Bild 5). So kann z. B. die Güte der Spülung des Getriebes vor Auslieferung überprüft werden. Die durch eine ungenügende Spülung nach der Fertigung im Getriebe gegebenenfalls verbliebenen Metallpartikel sind aber in der Lage, Initialschäden zu verursachen, die später zu einem verfrühten Ausfall des Getriebes führen können. Hierbei ist es weniger entscheidend, wie viele Metallpartikel konkret gezählt werden, wichtiger ist vielmehr, dass die Kurve über der Zeit abflacht, und sich der monatliche Anstieg auf zirka 60 bis 100 Partikel eingependelt.

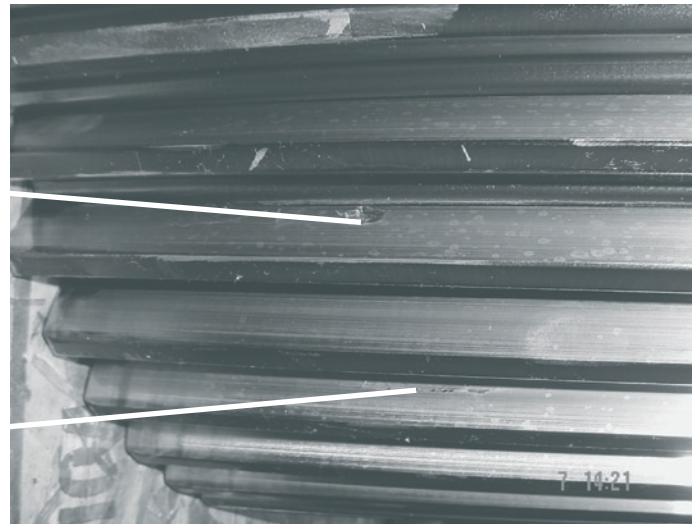
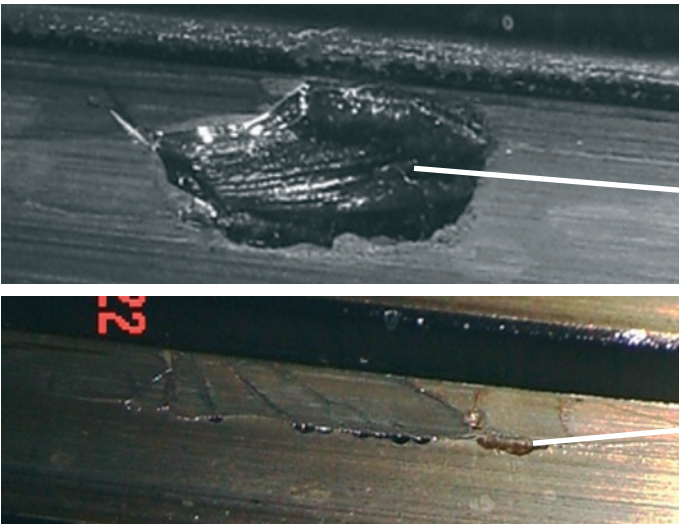
Kommt es zu einer Komponentenschädigung, ist dieser durch einen steileren Anstieg der Kurve erkennbar. Ist kein konkretes Ereignis erkennbar, so ist ein überproportionaler Anstieg der gezählten Metallpartikel allein ein sicheres Indiz für einen sich entwickelnden Schaden (Bild 6). Erreicht ein Bauteil einen kritischen Zustand, so ist dies zum einen an der deutlich erhöhten Partikelanzahl pro Zeiteinheit zu erkennen, zum anderen aber auch durch die Alarmmeldung bei Überschreitung einer definierten absoluten Anzahl der gesannten Partikel.

Die Alarmweiterleitung

Die Sensorik kann direkt an einen bestehenden Anlagen-Controller (z. B. Industrie-PC) oder ein anderes Monitoring-System angeschlossen werden. Alternativ kann die Kommunikation über ein eigenständiges Alarmmodul erfolgen, welches neben einer visuellen Anzeige der bis zu diesem Zeitpunkt kumuliert gezählten Metallpartikel über analoge Ausgänge, einen Netzwerkanschluss, sowie die Möglichkeit des Anschlusses an ein Festnetz- oder GSM-Modem bietet.

Wird der Metalscan-Sensor an einem entsprechenden Alarmmodul betrieben, so generiert dieses frei konfigurierbare Statusmeldungen, Fehlermeldungen und bei der Überschreitung einer vordefinierten Alarmgrenze selbstständig entsprechende Alarmmeldungen. Diese können entweder als E-Mail, SMS oder über die analogen oder digitalen Ausgänge weitergeleitet werden.

Das System ist selbstüberwachend (Sensorfunktion und Leitungsbruch) und absolut wartungsfrei, so dass Metalscan völlig ohne Betriebskosten arbeitet. In einer zweiten Ausführung des Metalscan-Alarmmoduls besteht die Möglichkeit, neben einem Metalscan-Sensor bis zu drei weitere Sensoren anzuschließen. Dies können zum Beispiel Schwingungssensoren sein, welche



9: Schaden am Planetenrad

über eine eigene Auswertintelligenz verfügen und das Alarmmodul als Kommunikationseinheit nutzen. Diese Sensoren sind im Markt für wenige hundert Euro verfügbar. So können mit geringen Mitteln auch die zum Getriebe gehörenden Antriebe auf Lagerschäden mit überwacht werden.

Anwendungsbeispiele

Wie bereits erläutert, werden in einem intakten Getriebe circa 60 bis 100 Partikel pro Monat gescannt. Ein massiver Schaden an einem Kugellager verursachte in einem Getriebe hingegen zirka 1 500 Partikel pro Tag, also ein um bis zu 750 Mal höher Wert! Kumuliert wurden bis zu diesem Zeitpunkt zirka 140 000 Partikel gezählt (Bild 7).

Zwischen dem Überschreiten der 1. Alarmgrenze, welche in diesem Beispiel bei 5 000 Partikeln lag, und dem Ausbau des Geschädigtenteils lagen 8 Monate kontrollierter Weiterbetrieb! Nun ist bei einem derartigen Grafikerlauf vielleicht zu vermuten, dass es sich um einen kapitalen Schaden handelt, und sich das Getriebe kurz vor dem Totalausfall befand.

Die Kurve in Bild 7 zeigt den Partikelverlauf bei einem Schaden am Innenring eines Planetenlagers sowie kleinere Ausbrüche an einem der drei Planeten. Die **Bilder 8** und **9** zeigen die beschädigten Teile des 8 Monate kontrolliert weiter betriebenen Getriebes.

Praxisvergleich mit Online-Schwingungsüberwachung

An einem anderen Anwendungsfall wurde sehr deutlich, wie sensibel und leistungsfähig die Überwachung von Getrieben mittels Metalscan im Verhältnis zur Online-Schwingungsmessung ist. An einem mit Metalscan und einer Online-Schwingungs-Überwachung ausgestatteten Getriebe wurde mit dem induktiven System

binnen einem Monat ein Partikelanstieg von zirka 8 000 Partikeln gemessen. Die Schwingungsmessung zeigte dabei noch keinerlei Auffälligkeiten. Es wurde ein Ölwechsel durchgeführt, was dann auch zu einer deutlichen Verlangsamung des Anstiegs der durch Metalscan gezählten Metallpartikel führte.

Nach einem Monat Betrieb mit dem neuen Öl wurden aber immer noch kontinuierlich ansteigende Partikel detektiert. Obwohl aus der Online-Schwingungsmessung immer noch keine Anhaltspunkte für eine Schädigung des Getriebes erkennbar war, wurde eine Videoendoskopie durchgeführt, welche zu diesem Zeitpunkt aber ebenfalls ohne Befund blieb!

Weitere fünf Monate später wurde aufgrund der immer noch kontinuierlich steigenden Partikelanzahl eine zweite Videoendoskopie durchgeführt. In dieser Videoendoskopie waren dann deutliche Schädigungen an den Planetenlagern erkennbar. In der Schwingungsmessung wurde aber zuvor lediglich ein erhöhtes Signal an einer Stirnradstufe des Getriebes erkannt.

Das Getriebe wurde dann noch 10 Monate bei kontinuierlich steigender Partikelzahlen mit kontrolliertem Schädigungsfortschritt weiter betrieben. Danach wurde das Getriebe ausgetauscht und in der Werkstatt überholt. Die endoskopisch erkannten Schäden an den Planetenlagern hatten sich deutlich ausgeweitet, bis hin zu Ausbrüchen in den Laufbahnen. Darüber hinaus waren erste Beschädigungen an den Verzahnungen zu erkennen.

Ein unüberwachter Weiterbetrieb dieses Getriebes hätte zu wesentlich größeren Schäden geführt, gegebenenfalls sogar einen Totalausfall zur Folge gehabt. Die Einsparungen aufgrund der frühzeitigen Erkennung der beginnenden Schädigung durch Metalscan lagen in diesem Fall bei über 80 000 €. Dem gegenüber stehen Investitionskosten für die Installation von

Metalscan von unter 10 % der Kosten durch den ersten Schadensfall. Unberücksichtigt bleiben bei dieser Rechnung Kosten für ungeplante Stillstände und daraus resultierende Produktionsausfälle.

Zusammenfassung

Um ungeplante Produktionsstillstände oder kapitale Schäden an Getrieben zu vermeiden, ist eine kontinuierliche Überwachung unumgänglich. Bei der Auswahl des geeigneten Überwachungssystems ist darauf zu achten, dass mit möglichst geringen Investitions- und Betriebskosten optimale Ergebnisse erzielt werden, das heißt, dass beginnende Schädigungen ohne teures Expertenwissen möglichst früh erkannt und Fehlalarme ausgeschlossen werden.

Die meisten derzeit am Markt erhältlichen Überwachungssysteme für Getriebe erfüllen diese Anforderungen nur teilweise oder nur mit deutlich höheren Investitions- und Betriebskosten.

Bei umlaufgeschmierten Getrieben ist der Einsatz von Metalscan eine sehr wirtschaftliche Lösung. Insbesondere die extrem frühe Erkennung von Schäden an Lagern und Verzahnungen ohne Fehldiagnosen, die vielseitigen Kommunikationsmöglichkeiten, der Betrieb ohne jegliche Auswertekosten, und die geringen Investitionskosten sprechen für das System.

Das ebenfalls von momac angebotene „Gear-Protect-Program“ bietet neben der Lieferung und Installation von Metalscan umfangreiche Leistungen rund um Produktionsanlagen. Diagnosen – auch Videoendoskopie und Schwingungsmessung – Wartung, Service, Vor-Ort-Reparaturen bis hin zu kompletten Maschinenüberholungen (elektrisch wie mechanisch) gehören zum Leistungsspektrum.