

## **MetalSCAN – effiziente online Zustandsüberwachung von Getrieben**

Dipl.-Ing. Stefan Leske

momac GmbH & Co. KG, Moers

### **1 Einleitung**

Hohe Anlagenverfügbarkeit und Vermeidung ungeplanter Stillstände sind die Hauptziele jeder Anlageninstandhaltung. Insbesondere die frühe Erkennung von beginnenden Getriebeschäden und die Beurteilung der „Restlebensdauer“, gerade an hochbelasteten Industrie- bzw. Produktionsgetrieben stellen hohe Anforderungen an die Instandhaltung.

Bei zu spät erkannten Lagerschäden müssen meist nicht nur die defekten Lager ersetzt werden, sondern auch weitere Bauteile wie Verzahnungen die infolge des nicht erkannten Primärschadens in Mitleidenschaft gezogen wurden.

Zu den reinen Instandsetzungskosten addieren sich darüber hinaus die Kosten für den ungeplanten längeren Produktionsausfall, gerade wenn keine Tauschgetriebe auf Lager sind, oder die benötigten Ersatzteile nicht kurzfristig verfügbar sind.

Bemerkt man den Primärschaden dagegen frühzeitig, lassen sich Folgeschäden weitgehend verhindern. Der Umfang der Reparaturarbeiten ist noch überschaubar und die Reparatur kann meist während eines geplanten Anlagenstillstands durchgeführt werden. Der Produktionsausfall wird minimiert.

Wie aber bemerkt man Schäden an Antrieben frühzeitig?

Sowohl zu früh revidierte Getriebe als auch übersehene Schäden führen zu erheblichen Mehrkosten oder unnötigen Produktionsstillständen. Produktionsrelevante Getriebe werden häufig noch 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. 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%-ige 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.

## 2 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 Endoskopie, Schwingungsmessung, und Öluntersuchungen.

Eine Reparatur soll nur noch bei erkennbaren Schädigungen durchgeführt werden. Aber gerade hier liegt das Problem!

Wie kann zuverlässig und mit vertretbarem Kostenaufwand sichergestellt werden, dass eine Schädigung möglichst früh erkannt wird, und zugleich Fehldiagnosen ausgeschlossen sind?

Zum einen gibt es die 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. Ölanalysen sind zum Teil schon „onlinefähig“, konnten bisher aber nur Aussagen über die Qualität (Viskosität, Wassergehalt, Verunreinigungen, etc.) des Öls treffen, woraus nicht direkt auf den Zustand des Getriebes geschlossen werden kann.

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

Die (Video-)Endoskopie 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 hingegen bieten die Möglichkeiten 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 mit einander verglichen werden. 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 ist der Experte in der Regel kaum unverzichtbar, gerade wenn eine Aussage über die quantitative Schadensentwicklung gefordert ist.

Die Parametrisierung der Online-Systeme stellt den Endkunden vor weitere Herausforderungen. Zur Erreichung belastbarer Aussagen sollten Referenzwerte des ungeschädigten Getriebes vorliegen. Insbesondere bei der Nachrüstung von Schwingungsmeßsystemen ist dies oft nicht gegeben.

### 3 Der andere Ansatz

Einen anderen Ansatz verfolgt MetalSCAN 3000, eine in Kanada entwickelte Online-Überwachung für ölumlaufgeschmierte Getriebe, welche in Deutschland von der momac GmbH & Co. KG vertrieben wird.



Bild 1: MetalSCAN Sensoren mit Durchflussbohrungen von 8 bis 38mm Durchmesser erhältlich

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 1200 Installationen mit über 12 Millionen Stunden sicheren Betrieb hat MetalSCAN seine Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt. Nun ist MetalSCAN auch in einer preiswerten Industrieversion erhältlich.

In umfangreichen NASA Studien (siehe [www.momac.de/download](http://www.momac.de/download)) wurde belegt, dass mit MetalSCAN 3000 nicht nur zuverlässig eine frühe Schädigung (Pittingbildung) von Lagern und Verzahnung erkannt wird, sondern auch die Schädigungsentwicklung wesentlich zuverlässiger und einfacher als bei schwingungsbasierten Systemen beurteilt werden kann.

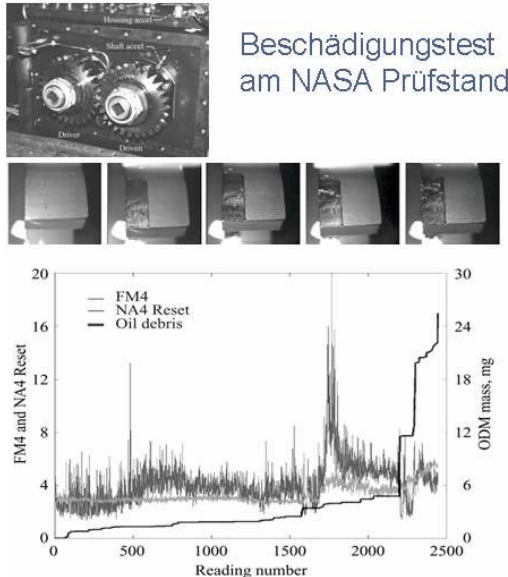


Bild 2: NASA Ergebnisse

## metalSCAN

Im Vergleich zum Vibrationssystem  
(Aufnehmer direkt an der Welle montiert =  
Idealzustand)

### NASA Ergebnisse:

1. "Ölsensor ist **zuverlässiger** als Schwingungsmessung bei der Erkennung von Pittingbildung an Getrieben"
2. "Einige Schwingungsalgorithmen **sprechen genau so auf Betriebseffekte** an wie auf Beschädigungen"
3. "Schwingungsalgorithmus FM4 und NA4 zeigen keine Schädigungsentwicklung an, **aber der Anstieg der gezählten Metallpartikel korreliert mit der Schadensentwicklung!**"

## 4 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 mit MetalSCAN ausgerüsteten Getriebe bereits kleinste Schädigungen ohne besonderes Auswerte-Know-how des Betreibers sicher erkannt werden.

Das induktive Messverfahren des MetalSCAN Sensors ist in der Lage, sowohl Eisen- als auch Nichteisenmetall zu scannen.

Zwei Spulen erzeugen 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. Die so erzeugten Signale entsprechen der Anzahl der durch den Sensor geflossenen Metallpartikel.

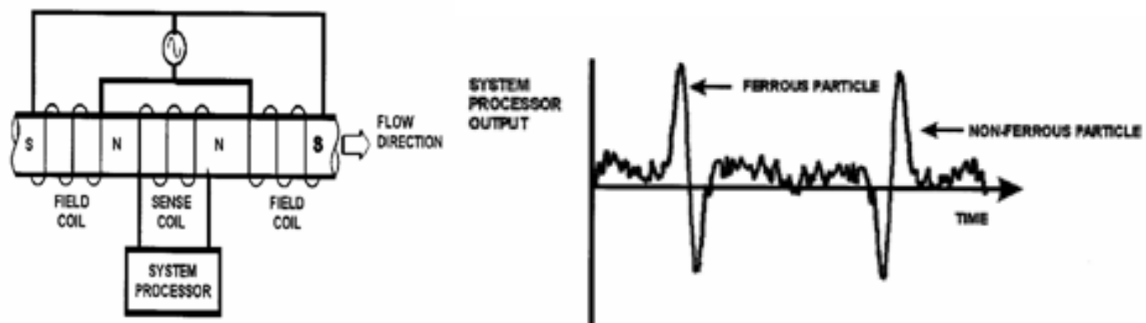


Bild 3: Funktionsschema Sensor

Abhängig vom Sensordurchmesser (von 8mm bis 25 mm) werden Eisen-Partikel von minimal 125µm (8 mm Sensor) bzw. 260 µm (25 mm Sensor) gezählt.

Die Sensorauswahl ist abhängig vom jeweiligen Volumenstrom. So darf der Volumenstrom des 8 mm Sensors zwischen 0,5 Liter und 50 Liter/Minute betragen. Der des 25 mm Sensors hingegen zwischen 10 Liter 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. ca. 60-200 Metallpartikel pro Monat gezählt, ein kurz vor dem Ausfall laufendes Lager erzeugt ca. 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.

## 5 Der Einbau

Der Einbau des MetalSCAN Sensors erfolgt im Ölumlau 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.

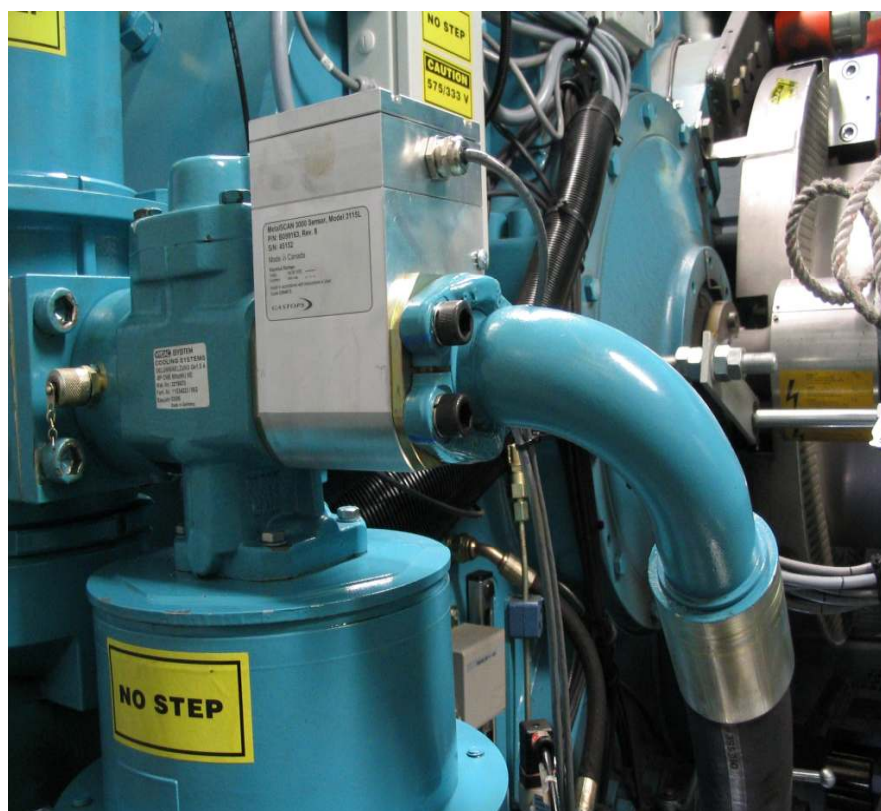


Bild 4: Einbau eines 38mm Sensors mit SAE Flanschschluss vor einem Hydac Filteraggregat

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



Bild 5: MetalSCAN All-In-One Filteraggregat mit Pumpe, Filter, Sensor, Alarmmodul und GSM-Kommunikation

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

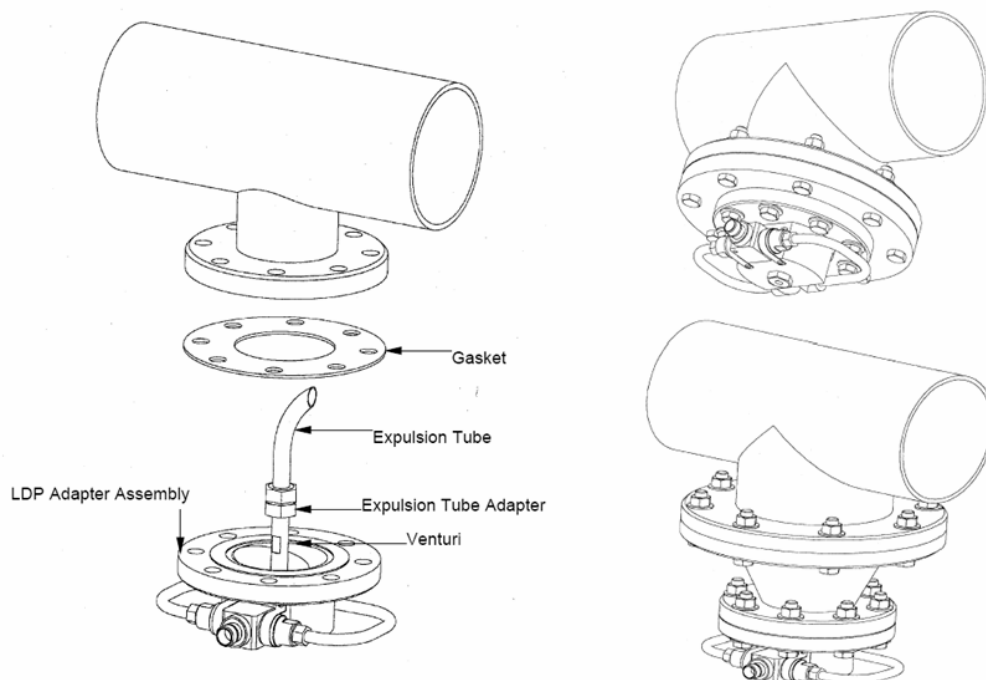


Bild 6: Adapter für große Leitungsquerschnitte



## 5 Die Fehlererkennung

Wie bereits oben erwähnt, korrelieren die Anzahl der gezählten Metallpartikel direkt mit der Schadenentwicklung. Die Darstellung der Anzahl der gezählten Metallpartikel bezogen auf die Zeit gibt daher ohne weitere Auswertung und Expertenkenntnisse eine klare Aussage über die Schadenentwicklung.

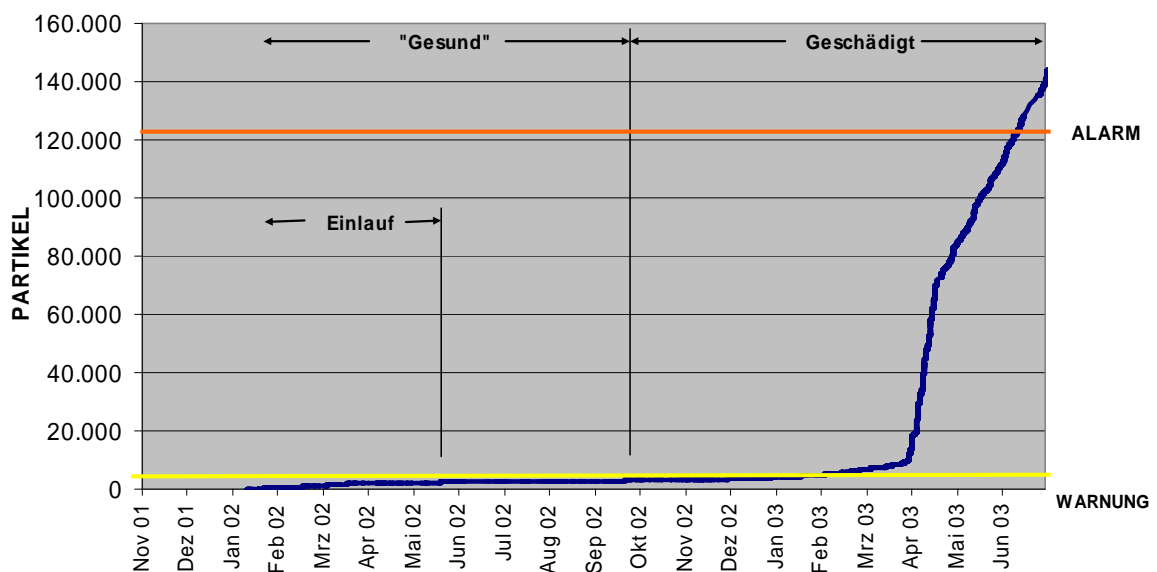


Bild 7: Schadensverlauf anhand der gezählten Metallpartikel

Die Auflösung von MetalSCAN ist so fein, dass die *Einlaufphase* eines Getriebes überwacht werden kann. So kann z. B. die Güte der Spülung des Getriebes vor Auslieferung überprüft werden. Die durch eine ungenügende Spülung nach der Fertigung im Getriebe ggf. verbliebenen Metallpartikel sind aber in der Lage, Initialschäden zu verursachen, die später zu einem verfrühten Ausfall des Getriebes führen können.

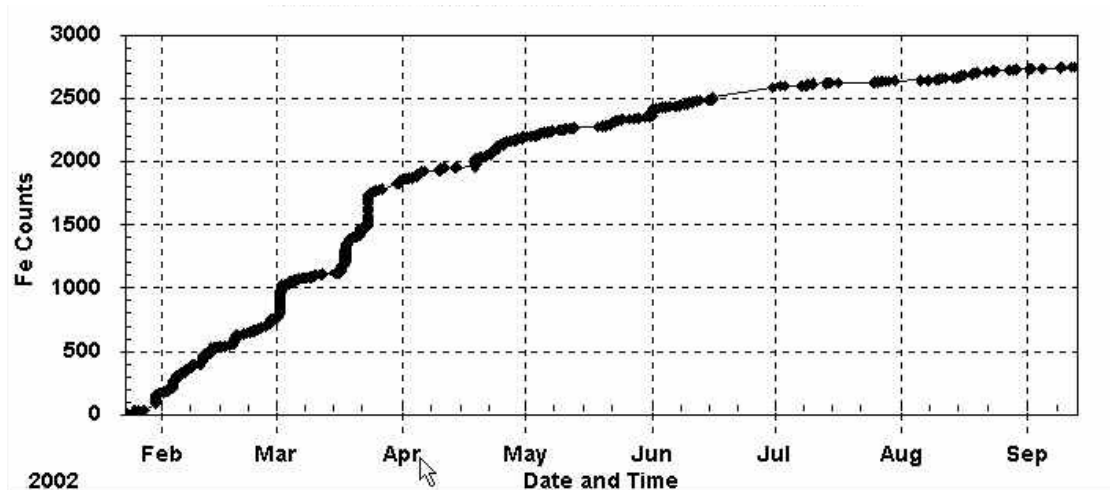


Bild 8: Einlaufphase eines Getriebes mit MetalSCAN aufgezeichnet

Hierbei ist es weniger entscheidend wie viele Metallpartikel konkret gezählt werden, wichtiger ist vielmehr, dass sich die Kurve über die Zeit abflacht, und sich der monatliche Anstieg auf circa 60 bis 100 Partikel eingependelt.

Kommt es zu einer *Komponentenschädigung*, ist dieser durch den 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.

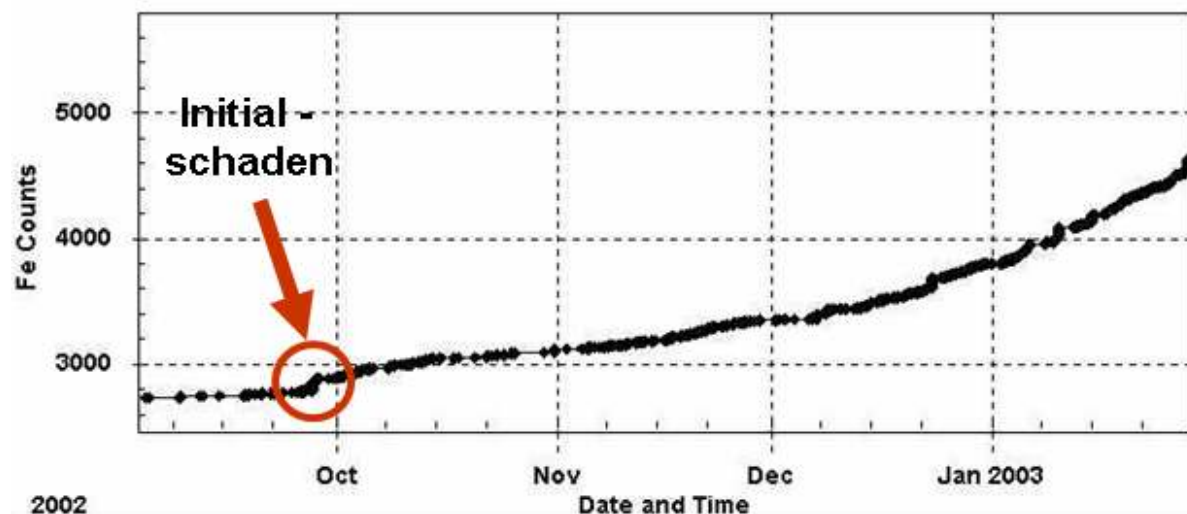


Bild 9: Partikelanstieg nach Initialschaden

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 gescannten Partikel.

## 6 Die Alarmweiterleitung

Der MetalSCAN Sensor 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.

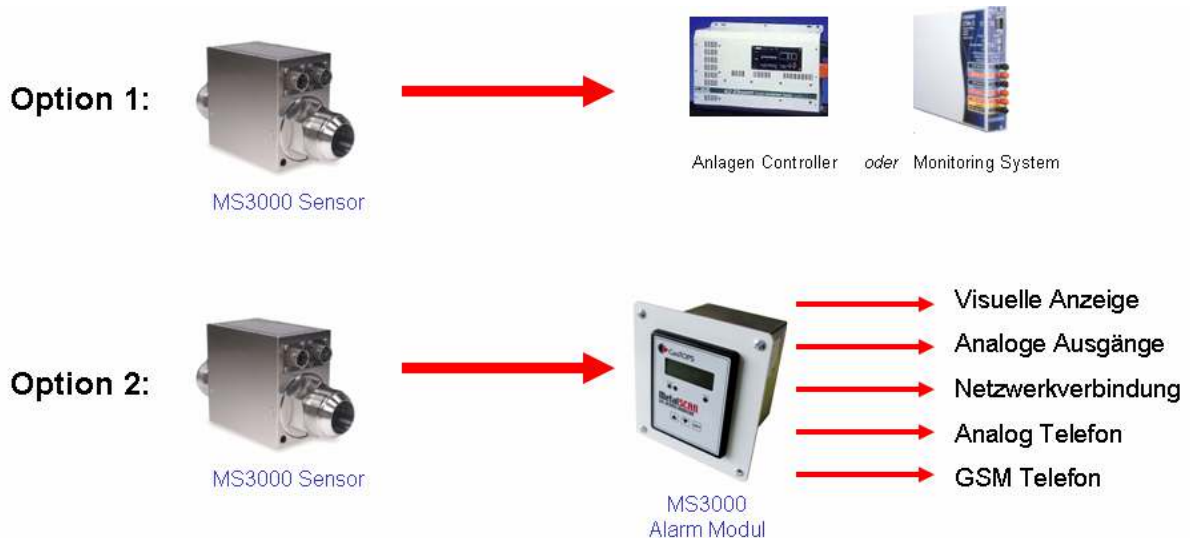


Bild 10: Kommunikationsmöglichkeiten

Wird der MetalSCAN Sensor an einem MetalSCAN 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 (keine bewegten Teile), so dass MetalSCAN völlig ohne Betriebskosten arbeitet.

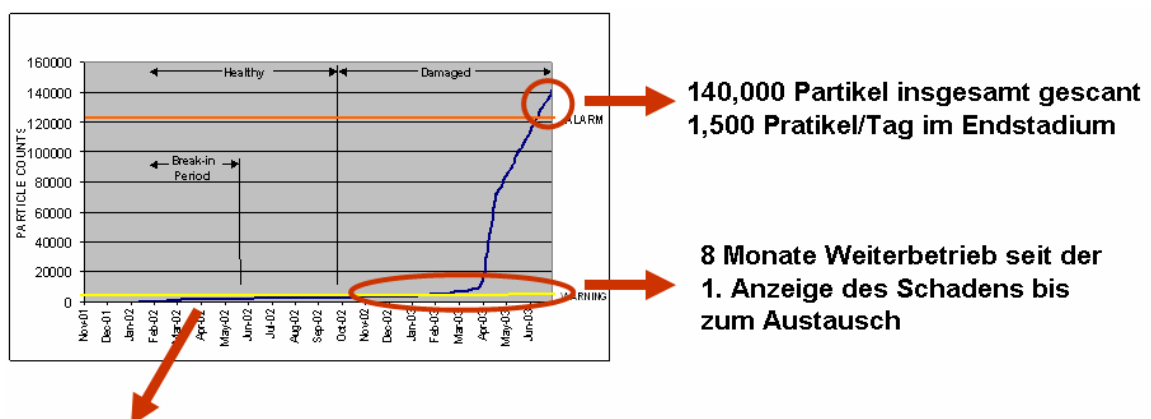
In einer zweiten Ausführung des MetalSCAN-Alarmmoduls besteht die Möglichkeit neben dem MetalSCAN Sensor bis zu drei weitere Sensoren anzuschließen. Dies können zum Beispiel Schwingungssensoren sein, welche über eine eigene Auswertintelligenz verfügen und das MetalSCAN-Alarmmodul als Kommunikationseinheit 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.

## 7 Anwendungsbeispiele

Wie oben bereits erläutert, werden in einem gesunden Getriebe circa 60 bis 100 Partikel pro Monat gescannt. Ein massiver Schaden an einem Kugellager verursachte hingegen circa 1500 Partikel pro Tag, also ein um bis zu 750-mal höher Wert! Kumuliert wurden bis zu diesem Zeitpunkt circa 140.000 Partikel gezählt.

Zwischen Überschreiten der 1. Alarmgrenze, welche in diesem Beispiel bei 5000 Partikeln lag, und dem Ausbau des Geschädigten teils lagen 8 Monate kontrollierter Weiterbetrieb!



**In einem „gesunden“ Getriebe werden  
ca. 60-100 Partikel im Monat gezählt!**

Bild 11: Schadenverlauf bis zum Ausbau

Nun ist bei einem derartigen Grafikverlauf vielleicht zu vermuten, dass sich um einen kapitalen Schaden handelt, und sich das Getriebe kurz vor dem Totalausfall befand. Daher hier einige Bilder der ausgebauten defekten Bauteile.

Die obige Kurve zeigt den Partikelverlauf bei einem Schaden am Innenring eines Planeten Lagers sowie kleinere Ausbrüche an einem der drei Planeten.



Bild 12: Schaden am Planetenlager, Innenring und Laufkörper

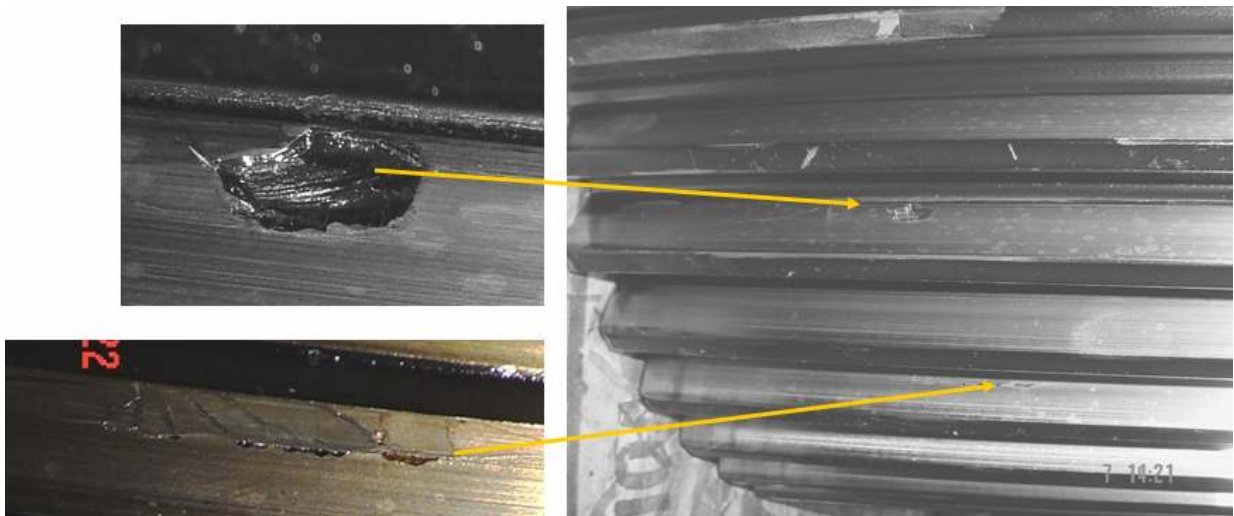


Bild 13: Schaden am Planeten

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 Online-Schwingungs-Überwachung ausgestatteten Getriebe wurde durch MetalSCAN binnen einem Monat ein Partikelanstieg von circa 8000 Partikeln gemessen. Die Schwingungsmessung zeigte dabei noch keinerlei Auffälligkeiten. Es wurde ein Ölwechsel durchgeführt, was 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 durch MetalSCAN detektiert. Obwohl aus der Online-Schwingungsmessung noch 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 2. Videoendoskopie durchgeführt.

In der 2. 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 steigenden 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 Einsparungen des ersten Schadensfalls. Unberücksichtigt bleiben bei dieser Rechnung Kosten für ungeplante Stillstände und daraus resultierende Produktionsausfälle.

## **8 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 das beginnende Schädigungen ohne teures Expertenwissen möglichst früh erkannt werden, 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 die derzeit wirtschaftlichste 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 MetalSCAN.

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 – Wartungen, Service, Vor-Ort-Reparaturen bis hin zu kompletten Maschinenüberholungen (elektrisch wie mechanisch) gehören zum Leistungsspektrum.

Für Fragen und ergänzende Erläuterungen steht Ihnen der Geschäftsführer der momac Dipl.-Ing. Stefan Leske gerne zur Verfügung.

### ***momac GmbH & Co. KG***

*momac hat sich auf die Instandhaltung von Getrieben, Hydraulikzylindern, Elektromotoren/Generatoren sowie die Fertigung von Ersatzteilen für Produktionsanlagen spezialisiert.*

*Darüber hinaus entwickeln und fertigen wir für unsere Kunden Sondermaschinen sowie Automatisierungs- und Roboterlösungen.*

*Unser Ziel ist es, jedem Kunden die jeweils wirtschaftlichste Lösung bieten zu können. Dafür setzen wir nicht nur auf unsere über 40-jährige Erfahrung und das Know-how unserer Mitarbeiter, sondern suchen ständig nach Verbesserungen in Prozessen, sowie neuen Methoden und Werkzeugen in der Instandhaltung.*