

# Motoren und Getriebe auf dem Prüfstand: Schwingungsmesstechnik für die Automobilindustrie

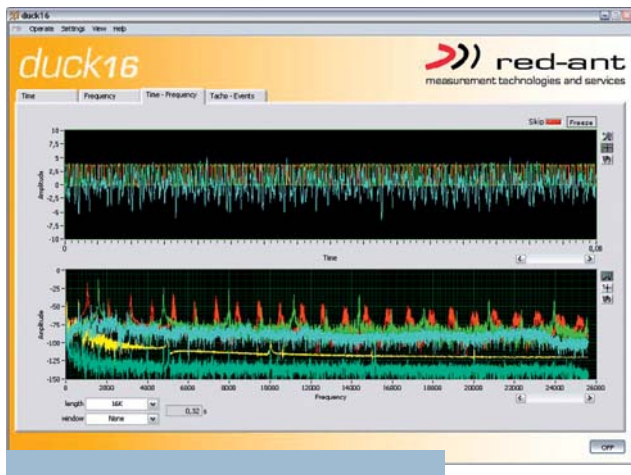


Bild 1: Die Online-Oberfläche der mehrkanaligen Messdatenerfassung zeigt den Zeit- und Frequenzbereich während einer Kontrolle im Prüfstand.

Einen wichtigen Punkt in der Automobilproduktion bilden Qualitätskontrollen wie End-of-Line Geräuschprüfung und Dauerhaltbarkeitsversuche. Für typische Anwendungen bei Getrieben und Verbrennungsmotoren gibt es bewährte Verfahren, die bei diesen Prüfungen genutzt werden. So können beispielsweise Konstruktionsschwächen, unerwünschte Geräusche und Fertigungsfehler bei Fahrzeuggetrieben und Verbrennungsmotoren im Entwicklungs- und Produktionsablauf frühzeitig erkannt und beseitigt werden..

Bei der Entwicklung von Schwingungsmesssystemen und -analysatoren hat sich das Unternehmen red-ant drei Feldern zugewandt:

- mehrkanalige, präzise Messdatenerfassung zur Schwingungsanalyse,
- Schadensfrüherkennung an Getrieben, Motoren und Maschinen unter dynamischen Prüfbedingungen sowie
- schwingungstechnische und akustische Serienendprüfung von Getrieben, Motoren und Maschinen.

Bei der Entwicklung dieser Messsysteme ist der Fokus darauf gelegt worden, dass der Endanwender ein auf seine Bedürfnisse zugeschnittenes System erhält und es einfach bedienen kann. Das Besondere bei der Entwicklung aller drehzahlabhängigen Verfahren von red-ant ist die Berücksichtigung, dass real gemessene Drehzahlsignale mit Fehlern behaftet sein können. Durch eine Berechnung der gemessenen Drehzahl und der abgeschätzten maximalen Drehunförmigkeit der Maschine wird online im Messsystem eine präzise Ist-

Drehzahl berechnet. Mit ihrer Hilfe kann so z.B. bei den Echtzeit-Ordnungsanalysen eine hohe Auflösung erzielt werden.

## Mehrkanalige Messdaten für die Schwingungsanalyse

duck16 ist ein mehrkanaliger, Messdatenrekorder zur Erfassung und Analyse von Schwingungsmessdaten. Neben der Schwingbeschleunigung können auch

Drehzahlen, Drehmomente, Temperaturen und serielle Busdaten (CAN) erfasst werden. Das System ist unabhängig von der Kanalanzahl in der Lage, die Messwerte mit bis zu 200kHz Abtastrate für jeden Kanal und bis zu 24Bit Amplitudenaufösung aufzunehmen, online auf physikalische Einheiten zu skalieren und auf einen internen Datenspeicher (Festplatte) abzuliegen. Für Dauermessungen ist

ein intelligenter Datenreduzieralgorithmus entwickelt worden, sodass auch bei Langzeitmessungen über mehrere Monate die Messdaten mit höchster Abtastrate aufgezeichnet werden können. Die Online-Oberfläche ist dabei weitgehend einem Oszillografen nachempfunden, an dem die aktuellen Messdaten grafisch dargestellt werden. Der Benutzer kann zur Verifizierung der Messdaten zwischen Zeit- und/oder

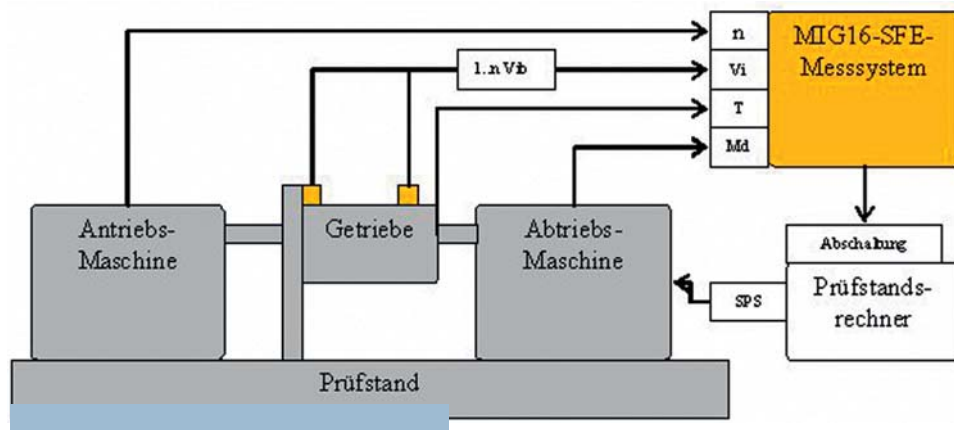


Bild 2: Aufbau einer Dauerhaltbarkeitsprüfung von Getrieben mit SFE-System. Legende:  $n$  = Drehzahl;  $Vib$  = Schwingungssignale;  $T$  = Getriebetemperatur;  $Md$  = Abtriebsmoment

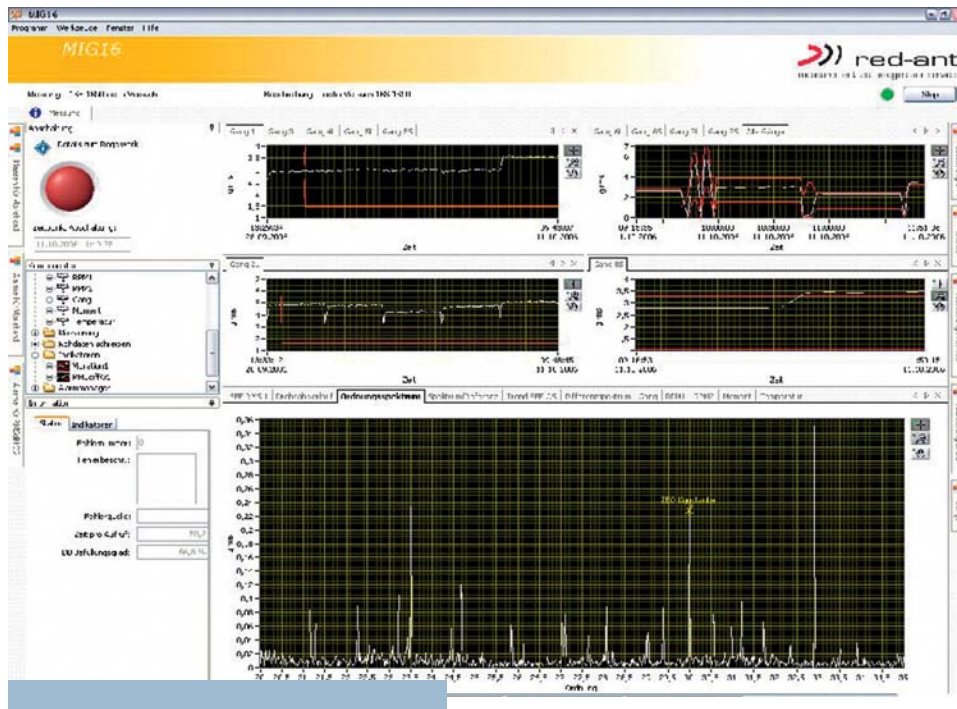


Bild 3: Die Oberfläche eines SFE-Systems zur Überwachung von Getrieben zeigt den Trend der verschiedenen Bauteile (hier Gangstufen, oben) und ein hochauflösendes Ordnungsspektrum mit 128.000 Linien (unten).

Frequenzdarstellung wählen. Bild 1 zeigt die Online-Oberfläche des Messdatenrekorders mit seiner kombinierten Zeit- und Frequenzdarstellung der Signale. Eine umfangreiche Auswertungssoftware vereinfacht die Analyse und Diagnose der aufgezeichneten Daten. So können mit aufgezeichneten Schwingungs- und Drehzahlensignalen neben verschiedenen Zeitfrequenz- auch präzise Ordnungsanalysen mit bis zu 128.000 Linien berechnet werden.

## Schadensfrüherkennung an Getrieben und Motoren

MIG16 SFE ist ein selbst lernender Multikanal-Schwingungsanalysator zur Erkennung von Schäden in Maschinen, Getrieben und Motoren. Das normale Einsatzfeld des Systems ist der Dauerhaltbarkeitsversuch, bei dem ein Lastkollektiv auf dem Prüfling aufge-

bracht und die Haltbarkeit geprüft wird. Der normale Aufbau eines SFE-Systems ist in Bild 2 dargestellt. Jeder Schwingungskanal kann in Abhängigkeit anderer Betriebsgrößen (Drehzahl, Moment, Temperatur usw.) überwacht werden. Bei einer Abweichung wird im System ein Voralarm ausgelöst. Genügt dieser gewissen Kriterien (Häufigkeit, Amplitude usw.), hat dies eine automatische Prüfstandsabschaltung zur Folge. Logisches Auswerten von Voralarmen und gezieltes Abschalten garantieren eine lückenlose Überwachung des Prüflings ohne Fehlabschaltung und machen das Messsystem daher anwenderfreundlich. Bei der Schwingungsüberwachung kann zwischen verschiedenen Verfahren, wie Effektivwert, Kurtosis, Frequenz-, Ordnungsspektrum, Cepstrum usw. gewählt werden. Für die typischen Anwendungen bei Ge-

trieben und Verbrennungsmotoren existiert eine Reihe von vordefinierten und bewährten Überwachungsverfahren. Die Grenzen für die Überwachungen müssen nicht von Hand eingegeben werden, sondern lassen sich automatisch vom System ermitteln. Das ist gerade bei hoch dynamischen Prüfungen mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Prüfschritten eine Erleichterung für den Anwender. Die Messdaten werden vom Messsystem in eine Datenbank geschrieben. Ein Reportgenerator setzt auf die Datenbank auf und fertigt Berichte nach Anwenderwünschen an. Für zahlreiche Anwendungsfälle existieren Vorlagen, wie Trendreport für einzelne Verzahnungen eines Getriebes oder ein Übersichtsreport darüber, was in den letzten Minuten vor Abschaltung des Prüfstands geschah. Zwei potenzielle Reports sind exem-

plarisch in Bild 4 visualisiert. Der Mehrwert eines SFE-Systems besteht darin, dass mit den Messdaten eine genaue Diagnose der Schädigung des Prüflings gestellt werden kann. Schäden können in einem frühen Stadium gefunden und somit der Schadenshergang und -ort genauer bestimmt werden. Will man die Auswirkung von Schädigungen untersuchen, dient der Trendreport dazu, das Schadenswachstum präzise zu verfolgen. Die Schadensursache (z.B. Lagerschaden) kann durch ein 3D-Ordnungsspektrum über der Zeitachse klar vom Folgeschaden (z.B. Zahnbruch) getrennt werden. Eine Anbindung des Messsystems an Prüfstand und Prozessleitreehner zur vollautomatischen Prüfung wird über verschiedene Schnittstellen des Messsystems (z.B. Ethernet, Dig I/O, CAN-Bus usw.) ermöglicht.

## Schwingungstechnische und akustische Serienendprüfung

MIG16 AQS ist ein mehrkanaliger Geräusch- und Schwingungsanalysator, der für die schwingungstechnische und akustische Beurteilung von Getrieben und Motoren entwickelt wurde. Ziel eines solchen Messsystems ist es, unerwünschte Geräusche und Fertigungsfehler wie fehlende Bauteile, Montage- und Materialfehler während einer Endfunktionsprüfung automatisiert, schnell und zuverlässig im Schwingungssignal zu erkennen. Der Prüfling wird meist automatisiert in mehreren Prüfschritten am Prüfstand auf Erfüllung seiner geforderten Funktion (Drehzahl, Moment, Übersetzung usw.) geprüft. Ein weiteres Qualitätskriterium kann die Geräuschentwicklung des Prüflings sein, die oft auch subjektiv durch das Prüfstandsper-

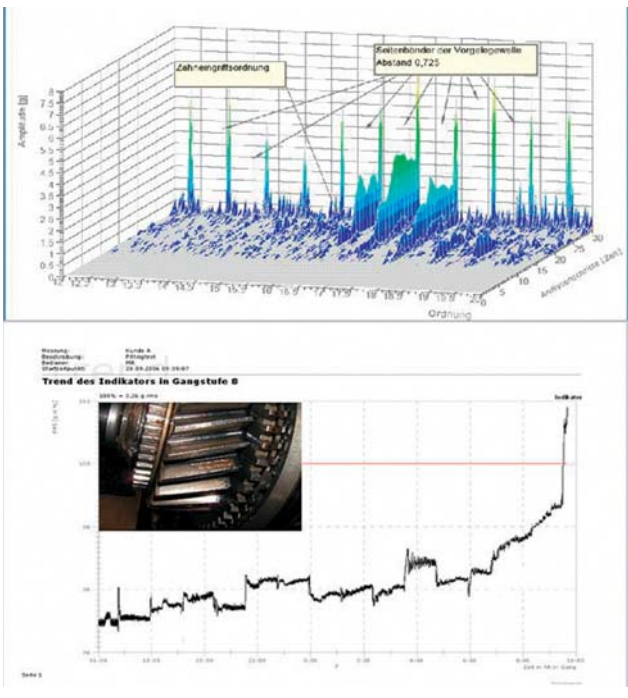


Bild 4: Verschiedene Reports ermöglichen die exakte Diagnose eines Schadens, z.B. mithilfe des Differenzordnungsspektrums im Schadenshergang über der Zeit (oben) oder der Trenddarstellung eines Verzahnungsschadens (unten).

sichtigung einer Paretoanalyse typischer Produktionsfehler. Das Messsystem kann dabei online mehrere Verfahren gleichzeitig in Echtzeit berechnen und die Entscheidung Gut- oder Schlechtteil fällen. Zur Einstellung von Grenzwerten stehen dem Anwender zu einem die Methoden der statistischen Prozesskontrolle (SPC) zur Verfügung. Hierbei können Statistiken über eine Anzahl von bereits gemessenen Prüflingen zur Festlegung der Gutteilgrenze herangezogen werden. Zum anderen können Grenzwerte auch durch Vergleichsmessungen im Einbauzustand (z.B. bei Getrieben im Fahrzeug) ermittelt und festgelegt werden. Bei komplexen Verfahren wie Hüllkurve des Ordnungsspektrums ist es von Vorteil, dass die Grenzwerte von einer großen Anzahl geprüfter Gutteile automatisch ermittelt werden können. Nach einer Einlernzeit werden so Schlechtteile vom Messsystem automatisch gefunden. Das Messsystem legt alle Messdaten und berechneten Ergebnisse in einer Datenbank ab. Optional können Teile dieser Daten auch in eine Produktionsdatenbank repliziert werden. Anhand der Original-Messdaten besteht

zum einen die Möglichkeit, verschiedene Verfahren zu testen und zu validieren, ohne dass hierfür extra Prüflinge neu gemessen werden müssen. Zum anderen können Rückläufer vom Kunden mit der originalen Messung bei Auslieferung verglichen werden. Diese Produktionsmessdaten können mehrere Jahre lang im Messsystem gespeichert werden, da die Datenspeicherkapazität durch Verwendung von PC-Festplatten beliebig ausbaubar ist. Eine Anbindung des Messsystems an Prüfstand und Prozessleitrichter zur vollautomatischen Prüfung wird über verschiedene Schnittstellen des Messsystems (wie z.B. Ethernet, Dig I/O, Profibus usw.) ermöglicht. ■



Autor: Dipl.-Ing. Michael Ruthrof, Geschäftsführer, red-ant measurement technologies and services e.k.

[www.red-ant.de](http://www.red-ant.de)

nal erfasst wird. Um Geräusche mit MIG16 AQS objektiv zu erfassen und zu beurteilen, können verschiedene bewährte Verfahren gewählt werden. Nachfolgende Tabelle gibt über die Verfahren und deren Anwendungsgebiete Auskunft.

**Geräuscherkennung und Anwendungsgebiete**

Die Auswahl der für den Anwendungsfall richtigen Verfahren erfolgt in der Regel nach einer Voruntersuchung am Messobjekt und unter Berücksichtigung

Verfahren	Messgrößen	Anwendung
Breitbandiges Gesamtgeräusch	Schalldruck, Schwingbeschleunigung, Drehzahl, Drehmoment	Allgemeine, objektive Geräuschmessung, Zeugnis über Lärmabstrahlung eines Prüflings
Anschlagprüfung Resonanzfrequenz und Dämpfung	Schwinggeschwindigkeit, -beschleunigung, Drehzahl	Materialprüfung von Gehäusen, Rohren, Schweißteilen
Sinus-Sweep-Prüfung	Schwinggeschwindigkeit, -beschleunigung, Erregerfrequenz	Materialprüfung von Gehäusen, Rohren, Schweißteilen
Zahneingriffsordnung (ZEO)-Pegel über Drehzahl	Lin. oder rot. Schwingbeschleunigung, Drehzahl	Beurteilung der Verzahnungsqualität und Einbaupräzision
Seitenbänder um ZEO	Schwingbeschleunigung, Drehzahl	Montage von Verzahnung, Fertigungsfehler, Schlagstellen
Harmonische der ZEO	Schwingbeschleunigung, Drehzahl	Beurteilung der Verzahnungsqualität
Hochauflösendes Ordnungsspektrum mit Hüllkurve	Schwingbeschleunigung, Drehzahl	Fertigungsfehler, Lagerfehler, Montagefehler, drehzahlsynchrones Klangbild
Hochauflösendes Frequenzspektrum mit Hüllkurve	Schwingbeschleunigung, Drehzahl	Fertigungsfehler, Montagefehler, allgemeines Klangbild
Wavelet-Analyse	Moment, Schwingbeschleunigung, Drehzahl	Fertigungsfehler, Suche nach bestimmten akustischen Auffälligkeiten