

Anwendung der Schwingungsdiagnose zur Schadensfrüherkennung im Bereich Forschung und Entwicklung

Anwendung und Vorteile der Schwingungsdiagnose zur Schadensfrüherkennung am Triebstrang im Forschungs- und Entwicklungsbereich der Fahrzeugindustrie

Author: Dipl. Ing. Michael Ruthrof, Geschäftsführer von red-ant measurement technologies and services

Datum: 10.02.2010

Einleitung	1
Schwingungsdiagnose in F&E	1
Wie funktioniert Schadensfrüherkennung?	2
Was leistet SFE?	3
Was kostet SFE?	4
SFE Potenzial	4
Zusammenfassung	5

1 Einleitung

Moderne Autos müssen verbrauchsarm und dennoch leistungsstark sein, um am Markt erfolgreich bestehen zu können. Diese Ansprüche stellen die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen (F&E) der Automobilindustrie 2010 vor neue Herausforderungen: Die Fahrzeuge sollen leichter werden, es sollen zügig neue Antriebskonzepte (Hybrid) entwickelt und zugleich der Bauraum für das Getriebe möglichst klein gehalten werden. Gleichzeitig gibt es aber immer stärkere Motoren. Dies erfordert in Zukunft gerade im Antriebsstrang (Motor-Getriebe-Achsgetriebe-Räder) den Einsatz neuer Materialien und Fertigungsverfahren. Die daraus entstehenden Neukonstruktionen werden zur Sicherung der Dauerhaltbarkeit auf Erprobungsprüfständen getestet. Hier kommt die Schwingungsdiagnose zur Schadensfrüherkennung an Motor, Getriebe und Achsgetriebe zum Einsatz.

2 Schwingungsdiagnose in F&E

Die Schwingungsdiagnose wird in der F&E unter anderem zur Schadensfrüherkennung in der Erprobungsphase von Getrieben und Motoren angewendet.

Einen großen Teil ihrer Erprobung verbringen die Getriebe und Motoren (kurz: die Prüflinge) auf Prüfständen. Hier werden die



Abbildung 1: Antriebsstrang-Prüfstand zur Erprobung von Getrieben und Achsgetrieben.

Prüflinge unter zuvor berechneten Lastprofilen getestet, die die reale Belastung in einem Fahrzeug nachbilden und/oder diese auf einen kürzeren Erprobungszeitraum raffen. Die meist voll-automatisierten Prüfstände laufen im 24-Stunden-Betrieb.

Beim Defekt eines Prüflings soll der Prüflauf möglichst schnell und schonend gestoppt und eine Diagnose über Größe und Art des Schadens durchgeführt werden. Diese Aufgaben werden mit Messsystemen zur Schadensfrüherkennung, zum Beispiel MIG16 SFE von red-ant, geleistet.

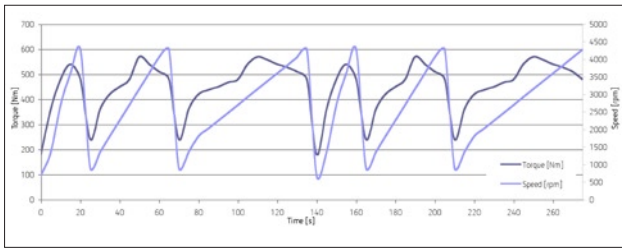


Abbildung 2: Drehzahl und Drehmoment des WOT-Tests (Wide Open Throttle = Vollgas) eines Dieselmotors mit Automatikgetriebe

2.1 Wie funktioniert Schadensfrüherkennung?

Zur Schadensfrüherkennung (SFE) werden Messdaten vom Prüfling sowie Betriebsdaten des Prüflaufs erfasst. Haupteingangssignale sind hierbei:

- » die Schwingungen an verschiedenen Punkten des Prüflings (gemessen als Schwingbeschleunigung)
- » Drehzahlen
- » Drehmomente
- » Übersetzungen
- » Temperaturen

Das SFE-Messsystem misst und digitalisiert die Haupteingangssignale, berechnet daraus in Echtzeit so genannte NVH-Indikatoren und vergleicht diese mit definierten Grenzwerten. Überschreitet ein Indikator einen Grenzwert, so wird ein Voralarm ausgegeben, der sofort durch ein Regelwerk geprüft wird. Im Falle einer positiven Prüfung wird Alarm zur Abschaltung des Prüfstands ausgegeben.

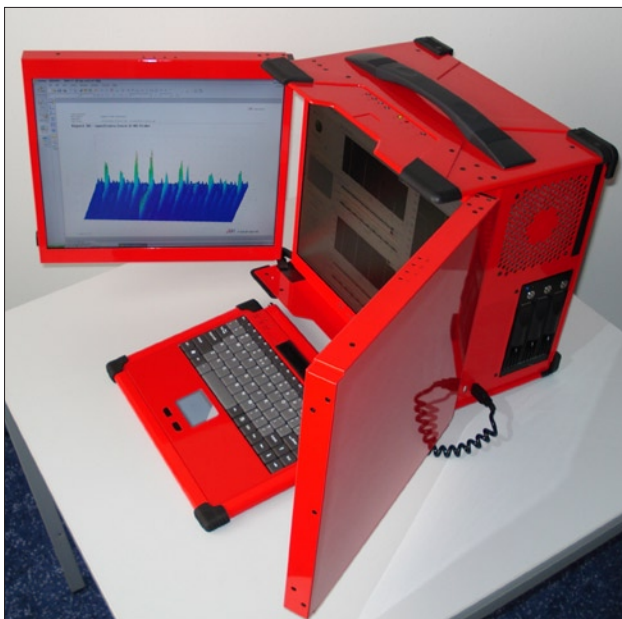


Abbildung 3: Messsystem MIG16 zur Schadensfrüherkennung

Die folgende Abbildung zeigt ein mögliches Schema zur Erfassung dieser Signale an einem Prüfstand zur Erprobung eines Antriebsstrangs (Motor, Getriebe, Achsgetriebe).

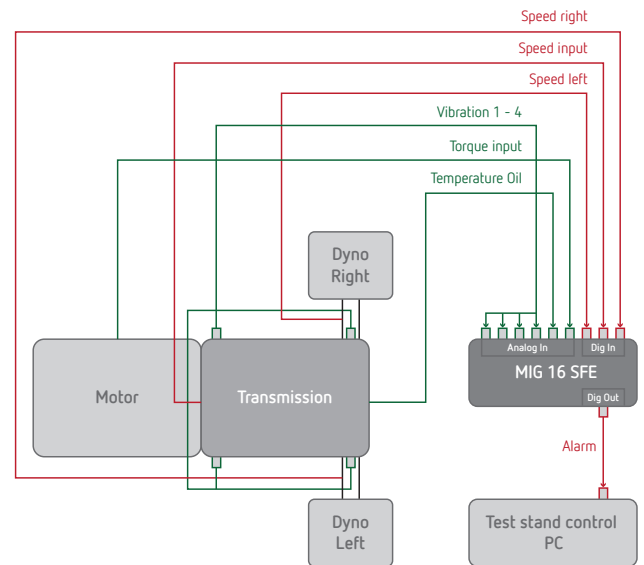


Abbildung 4: Signale zum Anschluss eines SFE-Messsystems an einen Antriebsstrang-Prüfstand.

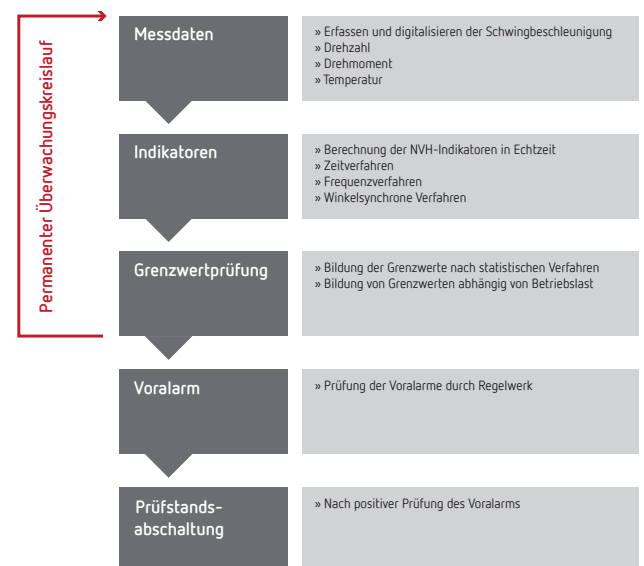


Abbildung 5: Prozess der SFE von der Messdatenerfassung bis hin zur Abschaltung des Prüfstands.

Besonders wichtig ist hier die Einstellung der Grenzwerte für die Indikatoren. Das System lernt die Grenzwerte für verschiedene Betriebspunkte (Drehmoment, Drehzahl) in der Regel automatisiert. Hierbei kommen je nach Prüfprofil verschiedene statistische Verfahren wie Standardabweichung, Mittel-, Minimal- und Maximalwertbildung zum Einsatz.

Ein Beispiel für die automatisierte Grenzwertbildung des SFE-Messsystems MIG16 zeigt die folgende Abbildung:

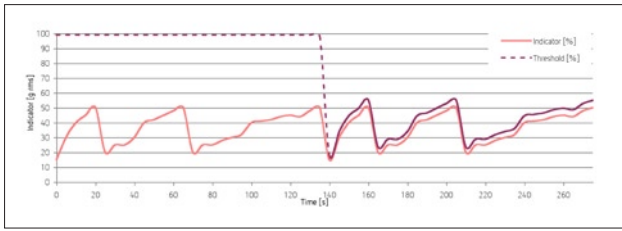


Abbildung 6: Lernprozess des SFE-Systems: Aus dem in Abbildung 2 gezeigten WOT-Test bildete das SFE-System Indikatoren und Grenzwerte für die Schwingbeschleunigung. Hellrot: NVH-Indikator einer Schwingbeschleunigung; dunkelrot gestrichelt: Grenzwert noch nicht gelernt; dunkelrot durchgehend: Grenzwert aktiv.

2.2 Was leistet SFE? (Ergebnisse und Beispiele)

Das SFE-Messsystem kann in einem Dauererprobungsversuch die folgenden wichtigen vier Punkte leisten:

- » Erkenntnisse über den Schaden
- » Entstehung des Schadens und dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit
- » Verkürzung der Testzeit und damit Erhöhung der Prüfstands-Auslastung
- » Kosteneinsparung durch intensivere Nutzung der Prototypen

Erkenntnisse über den Schaden

Die Indikatoren des SFE-Messsystems geben genauen Aufschluss über den Verlauf einer Schädigung im Versuchszeitraum. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Verlauf des SFE-Indikators während der Versuchszeit und eine Fotografie des Schadens nach Beendigung des Versuchs.

Eine exakte Bestimmung des Schadensortes ist mit Indikatoren wie dem Ordnungsspektrum bereits vor der zerlegenden Befundung möglich.

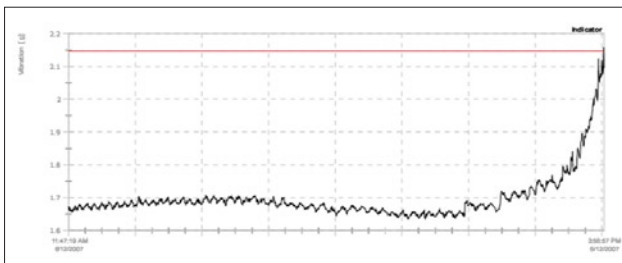


Abbildung 7: Verlauf des SFE-Indikators während eines Achsgetriebeversuchs, ca. vier Stunden vor Abschaltung. Schwarze Linie: SFE-Indikator; rote Linie: Grenzwert. Ein sehr langsamer Schadensfortschritt innerhalb einer Stunde ist erkennbar. Abschaltung erfolgte durch SFE-Messsystem. Zerlegende Befundung zeigte einen Schaden des Ritzelkopflagers (s. Abb. 8).



Abbildung 8: Schaden am Innenring der Ritzelkopflagerung eines Achsgetriebes. Pittinggröße ca. 25 mm² und 5mm².

Die folgende Abbildung zeigt das Ordnungsspektrum des oben beschriebenen Versuchs mit dem Ritzelkopflagerschaden als Ergebnis:

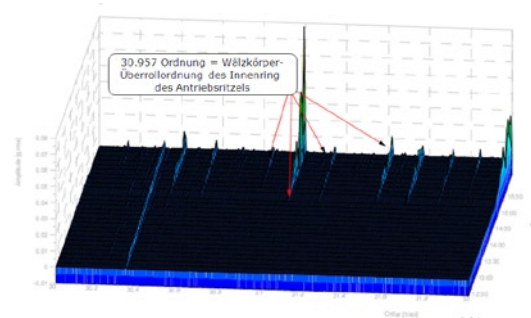


Abbildung 9: Ordnungsspektrum des Schadens am Innenring der Ritzelkopflagerung eines Achsgetriebes. Ausschnitt zeigt die dritte Harmonische der Lagerüberroll-Ordnung und die letzten drei Stunden vor Abschaltung. X-Achse ist die Ordnungszahl, bezogen auf die Antriebswelle (=1. Ordnung). Y-Achse zeigt die Amplitude in g (rms). Z-Achse ist die Versuchszeit. Das Anwachsen der 30.957. Ordnung repräsentiert die Schädigung am Innenring des Ritzelkopflagers.

Das hochauflösende Ordnungsspektrum (1 / 100 Ordnung Auflösung) ermöglicht es Schäden in Lager und Verzahnungen präzise zu erkennen. Dabei kann sogar zwischen Lagerinnen- und -außenring sowie zwischen Ritzel und Radverzahnung unterschieden werden.

Entstehung des Schadens und Ausbreitungsgeschwindigkeit

Da sämtliche Messdaten gespeichert werden, kann ein beliebig langer Zeitraum vor der Abschaltung analysiert werden. So kann ein Schaden von seiner Entstehung bis hin zur Abschaltung erfasst und verstanden werden (siehe hierzu auch Abb. 9.).

Optimierung der Testzeit

Im Normalfall wird der Prüfling für eine vorgegebene Prüfzeit belastet, ehe der Prüfstand anhält. Anschließend wird der Prüfling zerlegend befundet und ein Bericht angefertigt.

Versagt der Prüfling vor abgelaufener Prüfzeit, entsteht in der Regel ein größeren Schaden, wie etwa der Bruch einer Verzahnung oder einer Kolbenstange. Die Prüfung kann in diesem Fall nicht mehr fortgesetzt werden.

Die Zeit zwischen der Schadensentstehung und dem Abschalten aufgrund einer gebrochenen Komponente kann etwa bei Verzahnungsgrübchen mehrere Stunden benötigen. Ein SFE-Messsystem ermöglicht das gezielte Anhalten des Prüflaufs bei einer bestimmten Schadensgröße. Da der Indikator und seine zugehörige Grenze bei einem SFE-Messsystem live angezeigt wird, kann der Prüfstandsfahrer den Zeitpunkt der Abschaltung abschätzen. Wächst der Indikator und nähert sich der Grenze, kann der Prüfstandsfahrer bereits den nächsten Prüfling vorbereiten. Auf diese Art wird die Auslastung der vorhandenen Prüfstände erhöht.

Mit dieser Vorgehensweise konnte durch das Messsystem MIG16 SFE die Auslastung der Prüfstände bei einem red-ant-Kunden von 65 auf 90 Prozent gesteigert werden.

Kosteneinsparung durch intensivere Nutzung der Prototypen

Ein Prototyp-Prüfling besteht aus vielen einzelnen Komponenten wie Lagern, Verzahnungen, Wellen und Gehäusen, deren Beschaffung in der Regel zeit- und kostenintensiv ist. Die Verwendung eines SFE-Messsystems verhindert Schäden am Prototyp und Folgeschäden an anderen Komponenten weitgehend.

Bei einem Getriebe kann so zum Beispiel Gangstufe für Gangstufe geprüft werden. Ist eine Gangverzahnung beschädigt, wird die Prüfung angehalten, die Gangstufe aus dem Prüfprogramm genommen und der Lauf fortgesetzt. So kann ein Getriebe auch weitergetestet werden, wenn die erste Komponente schon beschädigt ist. Durch Einsatz eines SFE-Messsystems kann so mit nur einem Prototypen die Lebensdauer mehrerer unabhängiger Komponenten geprüft werden.

Durch das rechtzeitige Erkennen eines Schadens wird der Folgeschaden an anderen Komponenten vermieden. So können auch die unbeschädigten Komponenten wie Gehäuse und Wellen für weitere Versuche wiederverwendet werden.

2.3 Was kostet SFE?

Die Investitionskosten für ein SFE-Messsystem liegen in der Regel zwischen 20.000 und 50.000 Euro, je nach Komplexi-

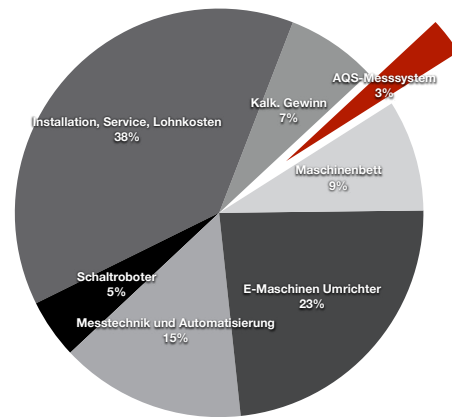


Abbildung 10: Kostenvergleich Gesamtinvestition Prüfstand ggü. SFE-Messsystem am Beispiel eines automatisierten 3-E-Maschinen-Prüfstands zur Erprobung von PKW-Handschaft- und Automatikgetrieben eines deutschen Herstellers.

tätsgrad der Prüflinge sowie Anzahl der Kanäle und Sensoren. In Relation zu den Kosten für einen Prüfstand ein geringer Preis, denn er beträgt nur etwa zwei bis fünf Prozent der Gesamtinvestition.

red-ant bietet für ihre Kunden auch ein breites Angebot an Mietsystemen zur Monats- und Wochenmiete an.

In der Regel amortisiert sich die Investition in ein SFE-Messsystem innerhalb eines Jahres. Im Motorsport meistens sogar schon mit dem ersten Versuch, bei dem ein wertvoller Prototyp gerettet werden kann.

2.4 SFE-Potenzial

Derzeit müssen Antriebsstränge in Fahrzeugen den Anforderungen jedes Fahrerprofils genügen, obwohl diese in der Praxis sehr verschieden sind. Das Getriebe darf auch dann nicht früher verschleifen, wenn der Fahrer zum Beispiel permanent steile Bergstraßen mit einem schweren Anhänger befährt. Um auch diesem Extrembeispiel gerecht zu werden, muss die Getriebecharakteristik der gesamten Baureihe danach ausgerichtet werden. Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist das Getriebe jedoch zu groß, zu schwer und somit auch zu teuer. Bestünde die Möglichkeit, die wenigen extrem fahrenden Endkunden zu ermitteln und für die größere Kundengruppe mit gemäßigerem Fahrverhalten kleinere und leichtere Getriebe einzubauen, entstünde daraus ein Einsparpotenzial für die Automobilindustrie.

Eine denkbare Lösung wäre hier ein Onboard-SFE-System im Miniaturformat: Wenn ein Endkunde sein Getriebe stark belastet, zeigt das SFE-System den erhöhten Verschleiß im Rahmen der regulären Wartungsintervalle in der Werkstatt einfach auslesbar an. In diesem Fall wäre die gebotene Reaktion der Einbau eines neuen Getriebes. Für den Automobilhersteller böte sich

ein wirtschaftlicher Vorteil, da für den größten Teil der Endkunden, nämlich für jene mit weniger extremem Fahrverhalten, das leichtere, günstigere Getriebe vollkommen ausreicht.

Für diese und viele andere Anwendungsbeispiele bietet redant Partnern aus der Automobilindustrie Technik und Know-how an.

3 Zusammenfassung

Mit Messsystemen zur Schadensfrüherkennung werden im Forschungs- und Entwicklungsbereich optimale Bedingungen hinsichtlich der Effizienz und der Kosten geschaffen. Der Bericht macht anschaulich, welche Vorteile sich für F&E-Abteilungen durch den Einsatz von SFE-Messsystemen bieten.

Die wirtschaftliche Betrachtung zeigt die vergleichsweise geringen Kosten in Relation zum Umfeld auf.

Das nachgestellte Anwendungsbeispiel für eine innovative On-board-Lösung bildet nur eine von vielen denkbaren Optionen ab, die sich durch den Einsatz von SFE-Messsystemen bieten.