

Preisreduktion ist erst dann zu erwarten, wenn die Modems als Chip-Sets in Geräte integriert werden können – wie heute schon bei WLAN. Für WiMAX ist ab 2008 mit ersten Chip-Sets zu rechnen.

5 Lizenzen müssen noch vergeben werden

Die erste Ausschreibung der WiMAX-Frequenzen endete im Februar 2006 mit über 100 Antragstellern und 1.221 Lizenzanträgen. Bei der Vielzahl der Anträge konnte keine Zuteilung erfolgen, da nur 3-4 Anbieter an einem Ort parallel Frequenzen nutzen können. Im Juli wurden die Eckpunkte für ein Auktionsverfahren veröffentlicht, in deren Rahmen 16 Regionen mit jeweils zwei Frequenzbänder zu 21 MHz und einem Band mit 28 MHz vorgegeben werden sollten. Aufgrund von Einwänden könnten letztlich aber 28 Regionen mit je 4 Frequenzbändern zu 21 MHz vorgegeben und somit 112 Lizenzen vergeben werden. Diese immer noch großflächigen Lizenzgebiete erschweren örtlichen Dienstleistern und anderen Unternehmen den Einsatz von WiMAX als Instrument zur lokalen oder begrenzten regionalen Ergänzung des DSL-Ausbaus. Es ist derzeit offen, wie viele Unternehmen sich tatsächlich an der Ausschreibung beteiligen werden. Vermutlich werden neben der T-Com die Deutsche Breitbanddienste GmbH, Inquam Broadband und ViMAX teilnehmen, auch einige Regionalversorger könnten für ausgewählte Regionen mitsteigern. Die Teilnahme von Kabel Deutschland scheint dagegen wieder offen.

6 Fazit

Aufgrund der ungeschickten Vorgehensweise der Bundesnetzagentur steht zu befürchten, dass ein tatsächlich großflächiger Netzaufbau nur sehr langsam und nicht vor Anfang 2007 erfolgen wird. Der Breitbandzugang über Funksysteme ist eine ausgereifte und in vielen Fällen wirtschaftlich interessante Alternative zu leitungsgebundenen Zugängen. Die verfügbaren Bandbreiten reichen für viele Anwendungen aus, sind aber deutlich niedriger als bei leitungsgebundenen Anschlüssen. Funkspezifische Probleme wie Schwankungen in der Versorgungsqualität und Funklöcher z. B. durch Abschattung kommen hinzu. Die entscheidende Stärke der WiMAX-Anschlüsse liegt in der Portabilität des Anschlusses und in der Entbündelung der Leistungen, so dass ein breitbandiger Internetzugang nicht zwangsläufig mit einem Telefonanschluss gekoppelt sein muss. Ein weiterer Vorteil für den Anwender ist die nur beim Einsatz von Fensterantennen erforderliche Innenraum-Verkabelung.

Literatur

[1] Kaack, J.: WiMAX, UMTS, WLAN + Funk als Alternative zu DSL, www.mittelstandsblog.de

Akustische Prüftechnik in der Fertigung

M. Kiefer, Pfinztal

Akustische Prüfmethoden haben sich in der Fertigung etabliert, die vielfach noch durchgeführte subjektive Prüfung von Baugruppen und Komponenten wird immer weiter automatisiert. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Einsatzgebiete anhand konkreter Beispiele von der klassischen Geräuschprüfung an Elektromotoren, über die berührungslose Drehzahlberechnung unzugänglicher rotierender Teile bis hin zu innovativen Verfahren zur Rissprüfung von Tondachziegeln in der laufenden Produktion.

1 Grundlagen der akustischen Fehlererkennung

Grundsätzlich lässt sich die akustische Prüfung in zwei Bereiche unterteilen:

- **Geräusch- oder Schwingungsprüfung**
- **Resonanz- oder Klanganalyse.**

In beiden Fällen wird die Qualität des Prüflings aufgrund seiner akustischen Eigenschaften bewertet, um Fehler an Bauteilen oder im Prozess zu erkennen. Ob ein Geräusch „schön“ klingt, lässt sich bisher nicht in Bewertungskriterien fassen, da dies wesentlich von persönlichen Erfahrungen abhängt.

Der erste Schritt für eine erfolgreiche Umsetzung akustischer Prüftechnik ist immer, sich mit dem Produkt auseinander zu setzen und es möglichst umfassend zu verstehen. Nur so ist es möglich, eine Geräuschanalyse (FMEA: Failure Mode and Effects Analysis; Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) durchzuführen und aufgrund der Erkenntnisse über das Produkt auf die akustischen Eigenschaften Rückschlüsse zu ziehen.

Der zweite Schritt ist die Betrachtung der Fertigungsumgebung und des Prozesses. Sind diese nicht bekannt oder nicht beherrscht, so führen sie zu einem instabilen Prüfprozess, der keine reproduzierbaren Ergebnisse liefert.

2 Geräusch- oder Schwingungsprüfung

Bei der Geräuschprüfung werden Bauteile untersucht, die im Betrieb Schwingungen erzeugen und damit Geräusche, die auf der einen Seite beim Menschen störend empfunden werden, auf der anderen Seite Rückschlüsse auf Produktionsfehler zulassen. Das einfachste Beispiel ist die Überwachung der Unwucht eines Elektromotors. Der Motor regt sein Gehäuse mit der Frequenz seiner Dreh-

zahl zu Schwingungen an. Diese können in einem begrenzten Frequenzband gemessen und bewertet werden. So lässt sich aus einer Vielzahl von Frequenzkomponenten auf bestimmte Fehlerursachen und sogar Bauteile schließen. Wurden diese Methoden zuerst hauptsächlich in der Automobilindustrie eingesetzt, so hat sich in den letzten Jahren die akustische Prüftechnik ausgeweitet, beispielsweise auf die Haustechnik bei Jalousie-, Tür- und Toröffnern, auf die Medizintechnik bei Gehhilfen wie motorisierten Rollstühlen oder Prothesen und auch auf exotische Bereiche wie der Papierprüfung oder das Kratzverhalten von Schreibfedern.

Um das komplexe Organ des menschlichen Gehörs besser abbilden zu können, werden zur klassischen Frequenzanalyse neue Verfahren wie Rauigkeit oder Schärfe eingesetzt, die das Empfinden des Menschen besser abbilden können. Dies lässt sich sehr gut anhand der Amplitudenmodulation zeigen. Bei der Amplitudenmodulation wird eine Trägerfrequenz mit einer zweiten Frequenz überlagert. Dies führt beispielsweise bei einem Elektromotor unter Belastung zu einem leiernden Geräusch. Insbesondere bei einer Modulationsfrequenz zwischen 20 Hz und 250 Hz ergibt sich eine wahrnehmbare Rauigkeit. Die größte Rauigkeit wird bei einer Modulationsfrequenz von 70 Hz empfunden. Bei einer Amplitudenmodulation zwischen 1 und 20 Hz spricht man auch von „Grummelgeräuschen“. Das menschliche Gehör reagiert bei einer Modulationsfrequenz von 4 Hz besonders sensibel. Das liegt vermutlich daran, dass die bevorzugte Modulationsfrequenz menschlicher Sprache, die Silbenfrequenz, ebenfalls bei 4 Hz liegt (Plomb 1983, Fastl 1984).

Um brauchbare Ergebnisse zu erzielen, muss die Prüfung unter möglichst realistischen Bedingungen, nahe der späteren Einbausituation durchgeführt werden. Dazu ist eine Entkopplung von Störgrößen wie Luft- und Trittschall zwingend notwendig. Die Befestigung des Prüflings muss an den späteren Befestigungspunkten vorgenommen werden, um dem Bauteil die Möglichkeit zur Schwingung zu geben (Bild 1). Meist wird eine berührende Mes-

Autor

Dipl.-Inform. (FH) Michael Kiefer ist Geschäftsführer der Fa. RTE Akustik + Prüftechnik, Pfinztal.



① Prüfnest zur Geräusch- und Funktionsprüfung von Schiebedachantrieben in der Fertigung. Der Antrieb wird an den Originalbefestigungspunkten gespannt. Eine Magnetpulverbremse simuliert die Lastverhältnisse der Bewegungen des Schiebedachs.

sung über Beschleunigungssensoren durchgeführt, die direkt am Prüfling befestigt werden. Die Position der Sensorik ist entscheidend für die Messergebnisse, da z. B. an einer Gehäuseversteifung nur eine geringe Schwingamplitude zu erwarten ist. Der optimale Messpunkt kann experimentell oder beispielsweise über ein Laser-Scanning ermittelt werden, bei dem das Schwingverhalten visualisiert wird.

3 Prozesskontrolle

Eine Vielzahl von Anwendungen erschließt sich der Akustik in der Prozesskontrolle. Viele Ereignisse werden hier akustisch vom Menschen überwacht oder als Signal für einen bestimmten Betriebszustand gewertet. Nachfolgend zeigen zwei Beispiele, wie hier akustische Ereignisse ausgewertet werden können.

In der Endmontage am Band bei Porsche werden zu jedem Fahrzeug die Reifen auf die ausgewählten Felgen gezogen und befüllt. Dabei muss sichergestellt werden, dass der Reifen in die Felge eingesprungen ist. Dies wurde dadurch erreicht, dass alle Reifen auf 5 bar aufgefüllt und anschließend der Reifendruck auf die notwendigen 2,5 bar abgesenkt wurde. Beim Einsprung des Reifens in die Felge wird ein impulshafter Knall erzeugt, der mit Hilfe eines Mikrofons erfasst und mit einer nachgeschalteten Einheit ausgewertet wird. Nachdem beide akustischen Ereignisse für die innere und äußere Felgenschulter aufgetreten sind, kann auf den Betriebsdruck gefüllt werden. Eine Auswertung der Ereignisse zeigte, dass 97 % der Reifen bereits bei einem Druck unter 2,5 bar eingesprungen waren und somit nicht mehr auf die 5 bar aufgefüllt werden mussten.

Im zweiten Beispiel soll die Drehzahl eines Elektromotors ermittelt werden. Alle gängigen Verfahren wie optische Sensoren oder die Auswertung des Stromsignals konnten nicht angewendet werden, da der Motor vollkom-

men gekapselt in einem Gehäuse integriert ist und über eine Elektronik angesteuert wird. Hier wird nun der Effekt ausgenutzt, dass der Motor das Gehäuse mit der Frequenz seiner Drehzahl in Schwingung versetzt. Diese Schwingungen werden über einen Körperschallsensor aufgenommen und spektral analysiert. Über eine gezielte Suche im Spektrum kann aus der dominanten Linie wieder auf die Drehzahl des Motors zurückgerechnet werden. Dieses Verfahren wird erfolgreich bei der Prüfung von Standheizungen eingesetzt.

4 Resonanzanalyse

Wenn man einen Körper anschlägt, dann schwingt er in seinen Resonanzfrequenzen. Bei der akustischen Materialprüfung nutzt man nun diesen Effekt, um auf den Zustand des Prüfobjektes zu schließen. Aus den Resonanzfrequenzen lassen sich werkstückspezifische akustische Kennwerte („finger prints“) berechnen und damit Güteigenschaften zuordnen.

Die Resonanzanalyse ist eine volumenorientierte Prüfmethode, die das ganze Prüfobjekt betrachtet. Bei der akustischen Resonanzanalyse wird das Prüfobjekt reproduzierbar erregt (angeschlagen) und der „Klang“ mit einem Mikrofon (Luftschall) oder Laservibrometer (Körperschall) aufgenommen. Die detaillierte und zuverlässige Beurteilung der Prüfobjekte erfolgt über einen Vergleich mit hinterlegten Mustern und ist daher ein vergleichendes Verfahren.

Ein Vorteil der Resonanzanalyse als volumenorientiertes Verfahren ist die Aussage über den Zustand des gesamten Prüfobjektes, weitestgehend unabhängig vom Fehlerort. Die Prüfentscheidung erfolgt innerhalb von wenigen Sekunden – zerstörungsfrei und ohne Umweltbelastung. Dieses Verfahren erlaubt daher eine schnelle Beurteilung und ergänzt die klassischen zerstörungsfreien Prüfmethoden.



② Prüfnest für eine Rissprüfung an Dachpfannen. Die Anschlageneinheit und das Mikrofon sind direkt über dem Band befestigt. Die Prüflinge werden in der Vorbeifahrt angeregt und klassifiziert.

Fotos: RTE

Entscheidend für die Umsetzbarkeit der Prüfverfahren in den Herstellungs- und Fertigungsprozess ist die Schnelligkeit der Prüfung und damit der Kosten-/Nutzenfaktor einer Prüfanlage. Im Allgemeinen ist man mit der Taktzeit an die Serienproduktion gebunden, wodurch nur eine teil- oder vollautomatische Anlage diese Anforderungen erfüllen kann.

Wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung in der Serienprüfung ist das Engineering. Dabei muss man sich systematisch mit dem Prüfobjekt, dem Material, der Lagerung bei der stoßweisen oder kontinuierlichen piezoelektrischen Anregung, geeigneten Anregungs- und Messposition(en) sowie der geeigneten Sensorik befassen.

Ein Anwendungsbeispiel ist die Rissprüfung an Gehäusedeckeln aus Aludruckguss. Durch die verschiedenen Bearbeitungsvorgänge wie Drehen, Bohren, Fräsen und Schleifen können Risse im Körper entstehen, die nicht toleriert werden.

Ein Roboter entnimmt die Prüfobjekte dem Band und legt sie in der Prüfanlage ab. Damit werden alle Prüfobjekte in der gleichen Weise in das Prüfnest der akustischen Resonanzanalyse orientiert. Bei dieser Anlage erfolgt eine Mehrfachmessung, wobei das Prüfobjekt aus mehreren Richtungen angeregt wird. Die Kombination der Ergebnisse wird zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst. Nach der Prüfung wird das Teil über einen zweiten Greifarm entnommen und in die Ausgabestelle abgelegt. Als NIO (nicht in Ordnung) klassifizierte Teile werden über eine Ablage überwacht ausgeschleust.

Eine weitaus größere Herausforderung stellt die Prüfung von Naturprodukten wie Dachpfannen dar. Da der Rohstoff Ton im Vergleich zu den metallischen Produkten relativ großen Schwankungen unterliegt, die wiederum Auswirkungen auf das Resonanzverhalten des Prüflings haben, war es bisher nicht möglich, diese mit akustischen Verfahren automatisiert auf Risse zu prüfen. Hier war eine subjektive 100%-Prüfung durch Anschlagen der

Dachpfannen vermutlich bereits seit Jahrhunderten Stand der Technik.

Durch ein neuartiges Verfahren ist es der Firma RTE gelungen, die komplexen Variationen des Fertigungsprozesses zu kompensieren und so eine normierte Frequenzanalyse durchzuführen. Sämtliche Produktionsstandorte der Firma Lafarge Dachsysteme in Deutschland wurden damit ausgerüstet. Die entscheidende Grundlage für reproduzierbare Ergebnisse war die mechanische Anregung. Hier wurden viele Anschlagvarianten und Anschlagpunkte getestet. Bild ② zeigt die Anschlageneinheit mit einem integrierten Mikrofon. Die Dachpfannen werden in der Vorbeifahrt angeregt und geprüft. Innerhalb einer Sekunde steht das Ergebnis fest und wird an die Bandsteuerung übergeben.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Wie alle oben angeführten Beispiele zeigen, führt der Erfolg der akustischen Mess- und Prüftechnik nur über die ganzheitliche Betrachtung der Aufgabenstellung. Ohne das Verständnis von Produkt, Prozess und Umwelt sind diese Aufgaben nicht zu lösen. Entscheidend ist das Engineering, die eingesetzten Produkte zur Umsetzung sind dabei zweitrangig.

Das Potential der akustischen Prüftechnik ist noch lange nicht ausgeschöpft. Vielerorts wird noch subjektiv geprüft oder werden akustische Ereignisse eher zufällig von Mitarbeitern erkannt und bewertet. Die Akustik wird als Informationslieferant in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen und bisherige aufwendigere Verfahren ergänzen oder ganz ersetzen. Die Mobilität wird durch die Weiterentwicklung der Miniaturisierung vorangetrieben und kann speziell bei der Überwachung manueller Montagevorgänge (z. B. Steckermontage, Einrastkontrolle) eine nachgeschaltete optische Prüfung ersetzen. ■