



Geräusch- und Funktionsprüfung
Akustische Materialprüfung
Akustische Prozesskontrolle
für Fertigung und Entwicklung

Wir hören Qualität



Seite 3

**Prüftechnik
mit ungeahnten
Möglichkeiten**

Seite 4

**Geräusch- und
Funktionstest beim
Bau von EC-Antrieben**

Seite 7

**Akustische
Materialprüfung
bei Bremscheiben**

Seite 10

**Akustische Prozess-
kontrolle bei Verpackung
und Montage**

Interview

Qualitätsprüfung bereits bei der Entwicklung einplanen

Die RTE Akustik + Prüftechnik GmbH feiert in diesem Jahr ihren 25. Geburtstag. Wir sprachen anlässlich dieses Jubiläums mit dem Geschäftsführer Dipl.-Inform. Ingolf Hertlin über die Anfänge der akustischen Prüftechnik, deren Entwicklung und zukünftige Trends der Branche.

Inzwischen hat RTE 25 Jahre Know-how in Sachen akustischer Prüftechnik. Wie fing alles an?

Hertlin: Benno Kotterba und ich haben das Unternehmen im Februar 1986 ins Handelsregister eintragen lassen. Die Idee entstand in unserer gemeinsamen Zeit beim Fraunhofer Institut IITB in Karlsruhe. Von Anfang an lag der Schwerpunkt bei RTE auf Lösungen für akustische Prüftechnik. Während man ursprünglich dafür Spezialrechner benötigte, kamen um die Zeit unserer Unternehmensgründung gerade die ersten PCs auf. Das war sicher ein Mitauslöser. Wir haben in den ersten Jahren vor allem Dienstleistungen angeboten, auch mit Standard-PCs gehandelt, vor allem aber schon damals ein erstes Geräuschprüfsystem entwickelt, das für die Serienprüfung einsetzbar war und die akustischen Verfahren in Echtzeit berechnete.

Sie haben die Entwicklung akustischer Prüftechnik über die Jahre genau verfolgt. Was hat sich getan?

Hertlin: Akustische Prüfungen beruhen auf der Beurteilung durch den Menschen. Mit geschultem Ohr prüfte er durch Anschlagen eines Gegenstands und Beurteilen des entstandenen Geräusches, ob der Gegenstand in Ordnung ist oder nicht. Der Mensch nimmt beim Hören vieles wahr, was sich nicht durch Algorithmen beschreiben lässt. Die Skepsis der Kunden bestand in den Anfangsjahren vor allem darin, ob sich dieses Hörvermögen auf eine Maschine übertragen lässt. Heute sind Standard-PCs so leistungsfähig geworden, dass diese Bedenken kein Thema mehr sind. Die vielen von uns über die Jahre realisierten erfolgreichen Lösungen tun natürlich ihr übriges. Daneben ist auch das Spektrum, was sich akustisch prüfen lässt, in den letzten 25 Jahren gewachsen: Wir haben angefangen mit Geräusch- und Funktionsprüfungen, recht bald kamen schon die akustische Materialprüfung, auch „Klanganalyse“ genannt und die akustische Prozesskontrolle dazu.



Wohin gehen die Trends?

Hertlin: Komponenten und damit die Prüflinge werden heute immer komplexer und intelligenter. Daneben geht der Trend zu höherer Teilevielfalt bei gleichzeitig geringeren Stückzahlen. Zudem ist die 100-Prozent-Kontrolle fast überall zum Standard geworden. Das hat natürlich Auswirkungen auf die Prüfsysteme. Diese müssen heute flexibler anpassbar sein. Gleichzeitig kombinieren wir immer öfter sowohl akustische als auch funktionale Prüfungen in einem System. Außerdem reicht es heute nicht mehr, eine Komponente als isoliertes Teil zu betrachten. Viele Prüfungen liefern nur sinnvolle Ergebnisse, wenn man auch die tatsächlichen Einbaubedingungen simuliert.

Und glücklicherweise geht ganz langsam auch der Trend dahin, Qualitätsprüfungen bereits bei der Produktentwicklung mit einzuplanen und nicht erst dann, wenn das Kind in den Brunnen gefallen ist. Gut wäre es, wenn Entwicklern bewusster wird, dass nicht nur die momentane Qualität eines Produktes relevant ist, sondern auch dessen Lebensdauererwartung, weil das den Wert eines Produktes immens steigert.

Wie hat RTE die Entwicklungen und Trends der Branche geprägt?

Hertlin: Ganz in den Anfängen zum Beispiel mit der Mitentwicklung der ersten digitalen Signalprozessorboards. Dann entstanden bei uns über die Jahre verschiedene Prüfsysteme, die schon sehr früh auf Technologien setzten, die erst Jahre später zum Standard wurden. Ich denke zum Beispiel an OPC, den



Bild: Dipl.-Inform. Ingolf Hertlin ist seit 1992 alleiniger Geschäftsführer bei der RTE Akustik + Prüftechnik GmbH

Einsatz objektorientierter Datenbanken oder anwendungsbezogene Bedieneroberflächen mit Visual Basic. Ein Buch, das ich 2003 über akustische Materialprüfung geschrieben habe, hat die Branche sicher ebenfalls geprägt. Zudem war ich Obmann eines Ausschusses der DGZfP (Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung), der 2009 einen Guideline über die Resonanzanalyse erstellt und veröffentlicht hat. Und von Anfang an haben wir unsere Gewinne in Forschung und richtungsweisende Neuentwicklungen investiert. Momentan forschen wir z. B. an akustischer Prüftechnik für Obst und Gemüse. Ein ungewöhnliches, aber sehr spannendes Thema.

Wie blickt RTE in die Zukunft?

Hertlin: Sehr optimistisch. Während in den letzten fünf Jahren Mitbewerber vom Markt verschwunden sind, konnten wir uns mit innovativen, anwendungsorientierten akustischen Prüfsystemen und unserem breiten Anwendungs-Know-how behaupten. Die nächste Generation eines extrem leistungsfähigen, für viele Branchen einsetzbaren Prüfsystems ist momentan in Entwicklung. Was mich als Unternehmensgründer persönlich sehr freut ist natürlich, dass auch die Zukunft in der Unternehmensführung gesichert ist. Weil ich so langsam auch mal über meinen Ruhestand nachdenken möchte, werden wir dieses Jahr die nötigen Schritte in die Wege leiten, um im Sinne unserer Kunden eine fließende Unternehmensnachfolge sicherzustellen.

Prüftechnik mit ungeahnten Möglichkeiten

AKUSTISCHE PRÜFUNG IN FERTIGUNG UND ENTWICKLUNG

Klanganalyse ist eine seit langem praktizierte Prüfmethode. Man denke nur an Verkäufer, die Glas- oder Porzellangegenstände durch kurzes Anklopfen auf Fehlerfreiheit kontrollieren. Akustische Verfahren finden heute in der industriellen Fertigung, Entwicklung und Prüfung neben der Materialprüfung auch einen breiten Einsatz zur akustischen Kontrolle von Montage- und Bearbeitungsprozessen sowie der Geräusch- und Funktionsprüfung von Komponenten.

Akustische Materialprüfung

Fehlerhafte Stellen wie Risse, Lunken, Materialdefekte, Gefügeabweichungen usw. müssen in Werkstücken sicher und zerstörungsfrei erkannt werden. Gebräuchliche Methoden nutzen Röntgen- und Gammastrahlen, Ultraschall, Wirbelstrom, die Spektralanalyse oder optische Verfahren. Neben der Tatsache, dass diese Techniken zum Teil sehr aufwendig sind, ist deren Einsatz auch jeweils mit etlichen Einschränkungen verbunden. Demgegenüber birgt die akustische Prüftechnik jede Menge Rationalisierungspotential. Produkte aus Grau- und Stahlguss, Sintermetall, Stahl, Aluminium und Keramik lassen sich im Produktionstakt erfolgreich per Klanganalyse prüfen. Die Lösungen sind nicht kostenintensiv und verlangen auch keine hohen Sicherheitsvorkehrungen.

Genutzt wird der bekannte physikalische Effekt, dass ein Körper nach entsprechender Anregung in Abhängigkeit von Geometrie und Materialbeschaffenheit in bestimmten charakteristischen Formen und Frequenzen schwingt, seinen Resonanzfrequenzen. Diese Schwingungen kann man mit einem Mikrofon aufnehmen und anschließend analysieren. Wo und wie man anregt, hängt vom jeweiligen Prüfling ab. Man kann den Prüfling z. B. mit einem Hammer anschlagen, durch Vibration anregen, aus geringer Höhe fallen lassen oder umgekehrt einen (kleinen) Gegenstand auf ihn fallen lassen. Der Vorgang muss lediglich genau reproduzierbar sein. Die Schwingungsantwort ist quasi die „Sprache des Werkstücks“. Sie liefert eine Information über den gesamten Prüfling und nicht nur über einzelne Bereiche.

Akustische Prozesskontrolle

Aber auch Produktionsprozesse wie z. B. Montage-, Bearbeitungs-, Füll- oder Fügeprozesse lassen sich akustisch überwachen. Dies erschließt überraschende Möglichkeiten. Dass nicht nur Produkte oder Teile als solche akustisch überwacht werden können, sondern auch bestimmte Vorgänge und Arbeitsschritte, zeigt das folgende Beispiel: An einem Rundtaktstisch soll der Montagevorgang eines Halteringes in eine Schnellkupplung sowie das anschließende Einklipsen der Haltefeder im Fertigungstakt überwacht und Fehlteile sofort aussortiert werden. Bei der Montage können sowohl der Haltering als auch die Zungen der Haltefeder brechen. Anhand des Geräusches wird das Einklipsen parallel in zwei Stationen des Rundtaktstisches überwacht. Der für den Montageablauf bzw. Zustand der Montageteile charakteristische Luftschall detektiert nicht nur gebrochene Teile, sondern erkennt auch, ob die erforderlichen O-Ringe eingesetzt sind (akustische Vollständigkeitsprüfung). Das akustische Prüfsystem analysiert und bewertet die Ereignisse an beiden Stationen innerhalb von 1,2 Sekunden.

Geräusch- und Funktionsprüfung

Geräusche und Schwingungen geben uns aber auch eine Aussage über die funktionale und akustische Qualität eines Produktes, z. B. eines Elektromotors oder eines Getriebes. Man denke beispielsweise an das Thema Noise, Vibration & Harshness (NVH), also den Umgang mit unerwünschten Geräuschen im Automobil. In wieder anderen Bereichen lassen sich durch akustische Verfahren Funktions- oder Sicherheitsmerkmale oder das



Akustische Materialprüfung



Akustische Prozesskontrolle



Geräusch- und Funktionsprüfung

reibungslose Zusammenspiel verschiedener Komponenten sicherstellen: Ist ein Zahnrad in einem Getriebe verspannt eingebaut oder beschädigt, macht sich dieses akustisch bemerkbar. Welches Prüfverfahren in welchem Fall anzuwenden ist und welche Prüfparameter man am sinnvollsten wählt, hängt von der konkreten Aufgabenstellung ab. Denn die Qualitätsaussagen müssen aufgrund möglichst weniger, aber aussagekräftiger Prüfkriterien getroffen werden. Diese gilt es zu finden.

Geräusch- und Funktionstest beim Bau von EC-Antrieben

AUCH FÜR KLEINSERIEN INTERESSANT:

Qualitativ hochwertige Produkte, die lange und zuverlässig funktionieren sollen, müssen heute zwangsläufig zu 100 Prozent eine Endkontrolle durchlaufen, ehe sie ausgeliefert werden. Rationelle, auf die jeweilige Produktgruppe zugeschnittene Prüfsysteme spielen bei modernen Fertigungsprozessen deshalb eine immer größere Rolle. Akustische Prüfverfahren bieten hier interessante Möglichkeiten: Mit ihrer Hilfe wird das Klangbild eines zu prüfenden Systems analysiert und daraus auf Fehler geschlossen. Die akustische Qualitätskontrolle lässt sich gut in automatisierte Produktionslinien integrieren und mit weiteren Prüfverfahren kombinieren, zum Beispiel für einen elektrischen Funktionstest. Entsprechend ausgelegt eignen sich solche Prüfplätze dann nicht nur für die Integration in vollautomatisierte Produktionslinien, sondern durchaus auch als manuelle Prüfplätze für die Qualitätskontrolle bei kleineren Losgrößen, wie die im Folgenden beschriebene Anwendung zeigt.

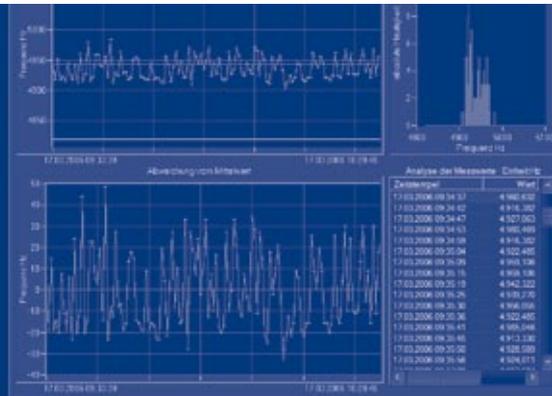


Bild 1: Die Antriebsfamilie der EC-Motoren: Eine umfassende Qualitätskontrolle jedes einzelnen Antriebs vor der Auslieferung ist obligatorisch (Foto: ebm-papst St. Georgen)

Die Firma ebm-papst St. Georgen entwickelt, fertigt und vertreibt Lüfter und Motoren für die unterschiedlichsten Einsatzbereiche und macht immer wieder mit Neuentwicklungen von sich reden. Zu den Produkt-Highlights gehören beispielsweise die schnellen und präzisen EC-Motoren der Baureihe ECI 63 (Bild 1), die sich für alle Anwendungen eignen, die von der Antriebslösung präzise Regelbarkeit, hohe Dynamik und eine lange Lebensdauer verlangen. Ob in der Automatisierung, der Druckindustrie oder in Verpackungsanlagen, meist ist zusätzlich eine hohe Lebensdauer auch bei Volllastbetrieb gefragt. Ein typischer Einsatzbereich für die leistungsfähigen und gleichzeitig kompakten EC-Antriebe sind Operationstische, die sich heute in nahezu alle denkbaren Richtungen verstellen lassen, und so quer durch alle chirurgischen Disziplinen eine optimale Patientenlagerung ermöglichen. Die Antriebe der Verstellachsen müssen hohen Qualitätsanforderungen genügen. Jeder Einzelne von ihnen wird deshalb in

Weitere Einsatzbereiche für Geräusch- und Funktionsprüfung

Neben der beschriebenen Anwendung finden sich weitere Einsatzbereiche für Geräusch- und Funktionsprüfung z. B. in folgenden Branchen:

Antriebstechnik – z. B. für die Qualitätsprüfung von:

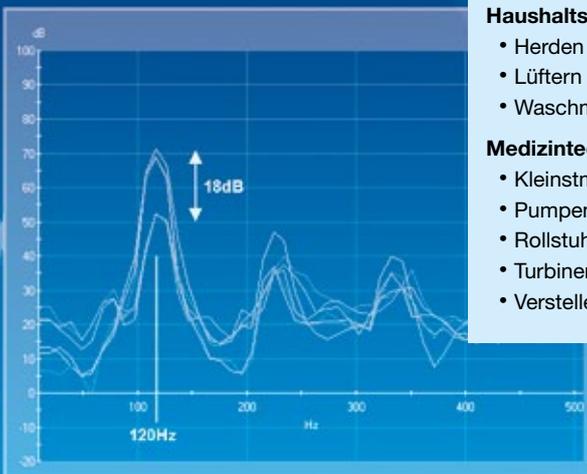
- EC-Motoren
- Fensterhebern
- Getrieben
- Rollladen- und Jalousieantrieben
- Lüftern
- Pumpen
- Schiebedächern
- Schrittmotoren
- Sitzverstellern
- Verstellung von Kfz-Sitzen
- Zahnradern

Haushaltsgeräte-Industrie – z. B. für die Qualitätsprüfung von:

- Herden
- Lüftern
- Waschmaschinen

Medizintechnik – z. B. für die Qualitätsprüfung von:

- Kleinstmotoren in Prothesen
- Pumpen
- Rollstuhlantrieben
- Turbinenbohrern, z. B. in der Zahnmedizin
- Verstellereinheiten für OP-Tische



St. Georgen nach der Fertigung auf „Herz und Nieren“ geprüft. Diese Aufgabe übernimmt das Prüfsystem Prodias 2000 von RTE, das die EC-Antriebe automatisch auf Geräusch und Funktion prüft. Dabei erfassen Sensoren die Schwingungen der zu prüfenden Produkte. Mit den gemessenen Funktions- und Sicherheitsmerkmalen wie Drehzahl, Stromaufnahme oder Hochspannungsfestigkeit wird gleichzeitig die funktionale und akustische Qualität der Antriebe beurteilt; das Prüfsystem vergleicht die Messwerte objektiv mit eingelernten Gutmustern.

Objektive Qualitätskontrolle sauber dokumentiert

Die Kombination des bei Antrieben obligatorischen elektrischen Funktionstests mit einem akustischen Prüfverfahren erwies sich als sinnvoll, weil sich akustisch Fehler erkennen lassen, die ein reiner Funktionstest nicht aufspüren kann. Messwerte wie Strom, Drehmoment, Winkel oder Drehzahl ermöglichen kei-

ne Analyse der Eigenschaften des kompletten Antriebssystems. Sie geben beispielsweise keinen Aufschluss über die Qualität der Getriebeverzahnung oder die Lagerfluchtung. Hier wird das akustische Prüfverfahren zum unersetzlichen Helfer. Es „hört“ auch kleinste Abweichungen vom Sollzustand. Minimale Fehler in der Getriebeverzahnung beispielsweise werden ebenso aufgedeckt wie jede auch noch so geringe Lagerunwucht, die sich im späteren Betrieb verkürzend auf die Lebensdauer auswirken könnte. Solche Fehler ließen sich bei einer zusammengebauten Antriebseinheit mit anderen Methoden nicht mehr finden.

Natürlich könnte die akustische Qualitätskontrolle prinzipiell auch ein Mitarbeiter übernehmen. Vor nicht all zu langer Zeit war das durchaus Stand der Technik. Lautes Klappern oder Brummen eines defekten Antriebs wird zwar jeder hören, anders sieht es bei minimalen Abweichungen vom Sollzustand aus. Selbst das geschulteste Ohr arbeitet zudem

dabei immer subjektiv, liefert nie genau reproduzierbare Ergebnisse und wird sich bei häufigeren Produktwechslern schwer tun. Eine objektive Qualitätsaussage lässt sich so also keinesfalls garantieren. Obendrein kommt hinzu, dass subjektiv gewonnene Ergebnisse nicht dokumentierbar sind. Hier spielt das automatische Prüfsystem weitere Vorteile aus, denn alle Messergebnisse, sowohl der akustischen als auch der elektrischen Prüfung, werden automatisch dokumentiert. Dabei sind nicht nur Aussagen über den einzelnen Prüfling möglich, sondern auch über die gesamte Fertigungsqualität, damit Trends frühzeitig erkannt werden.

Modular und schnell umrüstbar auf andere Antriebsvarianten

Da die EC-Antriebe in unterschiedlichen Varianten und vergleichsweise kleinen Losgrößen produziert werden, wurde der Prüfstand modular aufgebaut. Je nach zu prüfendem Antriebstyp lässt sich so innerhalb weniger

Geräusch- und Funktionsprüfung warum?

Im industriellen wie auch im privaten Bereich achten Kunden heute immer mehr auf die Umweltbelastung durch Lärm. Geräusche eines Gerätes werden nicht nur als störend wahrgenommen, sondern lassen bei auffälligen Geräuschen durchaus auch eine Fehlfunktion oder gar einen drohenden Ausfall befürchten. Durch eine integrierte Geräusch- und Funktionsprüfung in der Fertigung lässt sich die Kundenzufriedenheit erheblich verbessern und die Daten können nebenbei noch für die Dokumentation der Produktion und in der Entwicklung zur Verbesserung der Produktqualität genutzt werden. Durch eine kontinuierliche Überwachung und Dokumentation der Produktion lassen sich Kundenreklamationen auf ein Minimum reduzieren.

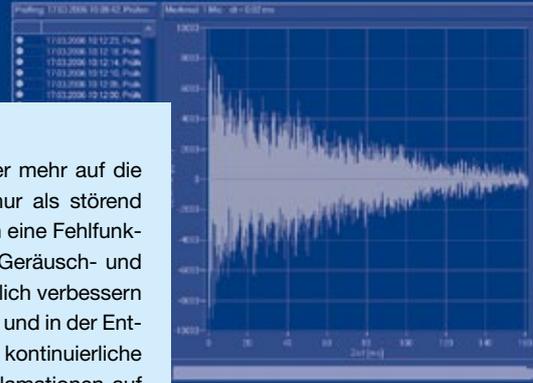


Bild 2: Tischprüfstand für die Geräusch- und Funktionsprüfung von EC-Antrieben. Er ist schnell umrüstbar und eignet sich so auch für die Prüfung kleinerer Losgrößen (Foto RTE / ebm-papst St. Georgen)

Sekunden das entsprechende Modul mit der passenden Motorhalterung einsetzen. Ein Umrüsten auf eine andere Antriebsvariante ist damit jederzeit einfach und schnell möglich (Bild 2).

Ist der Prüfstand für die aktuell zu kontrollierenden Antriebe eingerichtet, werden die Prüflinge nacheinander manuell eingelegt und praxistgerecht per Schnellspannsystem befestigt. Die vorgeschaltete Initialisierung des Antriebes über CANopen und die komplette Prüfung, die maximal 45 Sekunden dauert, kann starten. Dazu wird zunächst über die im Prüfsystem integrierte Auftragsverwaltung ein Fertigungsauftrag ausgewählt. Hier ist die zu prüfende Variante aus Motor und Getriebe hinterlegt. Das Prüfsystem hat damit alle relevanten Informationen, weiß also, um welchen Antriebstyp es sich handelt und welche zuvor eingelernten Gutmuster Grundlage für die

Bewertung der Messergebnisse sind. Nach erfolgreicher VDE-Sicherheitsprüfung wird jeder Antrieb entsprechend der hinterlegten Vorgaben im Leerlauf und unter Last sowohl elektrisch als auch akustisch geprüft.

Drehwinkelsynchrone Signalabtastung oder Ordnungsanalyse

Da sich die Drehzahl der Antriebe während der Prüfung ändert und Drehzahlrampen durchfahren werden, wurde das akustische Prüfverfahren entsprechend ausgelegt, d. h. die während des Tests von den zwei im Prüfstand integrierten Körperschallsensoren gemessenen Schwingungen werden nicht nur im Zeit- und Frequenzbereich bewertet, sondern auch gemäß der Motordrehzahl. Bei einer klassischen Spektralanalyse mit konstanter Abtastfrequenz gäbe es nämlich Schwierigkeiten, weil die Frequenzen in Abhängigkeit

von der Drehzahl ihre Lage im Spektrum ändern. Dies lässt sich aber mit einer drehwinkelsynchronen Signalabtastung oder Ordnungsanalyse vermeiden. Ist der Prüfling im einfachsten Fall ein Motor ohne nachgeschaltetes Getriebe, wird die Ordnungsanalyse auf die Drehzahl des Motors bezogen. Dies bedeutet, dass Fehler wie „Unwucht“ und „Exzentrizität“ auf Ordnung 1 abgebildet werden. Alle Schwingungen mit einem Vielfachen der Drehzahl sind den höheren Ordnungen zugeordnet (2. Ordnung, 3. Ordnung usw.). Eine Drehzahländerung beeinflusst das Messergebnis der akustischen Prüfung nicht. Der modular aufgebaute Prüfplatz für die Geräusch- und Funktionskontrolle ist seit Mai 2008 in Betrieb und hat sich im praktischen Einsatz bewährt. Module für die Qualitätsprüfung neuer Motorvarianten können jederzeit nachgerüstet werden.

Akustische Materialprüfung bei Bremsscheiben

BEI GROSSEN STÜCKZAHLEN 100-PROZENT-KONTROLLE SICHERHEITSRELEVANTER BAUTEILE

Moderne Fertigungstechnik baut auf rationelle Produktionsmethoden. Hohe Stückzahlen zu günstigen Preisen in gleichbleibend guter Qualität herzustellen ist das Ziel. Nicht nur bei sicherheitskritischen Bauteilen ist aber eine 100-Prozent-Kontrolle aller erzeugten Teile wichtig. Eine kontinuierliche Prüfung im Anschluss an die Produktionslinie ermöglicht nicht nur das Aussortieren fehlerhafter Teile, sondern erlaubt auch eine Optimierung der Herstellungsparameter. Um schnell und gründlich alle Teile zu testen, ist die akustische Qualitätskontrolle für viele Produkte das Mittel der Wahl. Im vorliegenden Fall geht es um Bremsscheiben, die in Millionenstückzahlen gefertigt werden. Jede Einzelne davon muss als Sicherheitsbauteil im Auto eine Güteprüfung durchlaufen.



Bild 1a: Riss in der Anschraubfläche



Bild 1b: Riss im Hut



Bild 1c: Riss im Übergang Hut-Reibring

Bremsscheiben sind hoch belastete Bauteile. Sie unterliegen extremen Beanspruchungen im Einsatz und müssen daher absolut zuverlässig den vorgegebenen Werten entsprechen. Gleichzeitig sind Bremsscheiben Massenprodukte; für Herstellung und Prüfung einer Scheibe steht darum wenig Zeit zur Verfügung. RTE entwickelte auf Grundlage akustischer und optischer Kontrolle einen schnellen Weg, alle Bremsscheiben, die die Fertigung durchlaufen, einer 100-prozentigen Materialprüfung zu unterziehen.

Multiple Fehlerstellen schnell erkannt

Bremsscheiben gibt es in vielen Varianten. Die möglicherweise auftretenden Schadensbilder jedoch ähneln sich immer. Um sie sicher aufzuspüren, ist eine Kombination aus Erfahrung, dem richtigen Messverfahren und Feinabstimmung auf das jeweilige Bremsscheibenmodell nötig. So kann man zum Beispiel Riss- und Gefügefehler recht einfach am Klangbild erkennen. Risse treten an Stellen auf wie der Anschraubfläche, dem so genannten Hut oder auch am Übergang zwischen Hut und Reibring (Bild 1a-c). Sie ändern das Klangbild einer durch einen Schlag angeregten Scheibe immer in spezifischer Weise. Als volumenorientiertes Prüfverfahren kann die akustische

Materialprüfung nach dem Resonanzverfahren dabei auch innere Fehler aufspüren. Gefügefehler des Werkstoffes und Risse verändern den inneren Zusammenhalt (Festigkeit) im Bauteil und damit das Klangbild der Bremsscheibe.

Oberflächenfehler wie Poren oder mechanische Beschädigung sind optische Mängel, die nicht zum Versagen des Bauteils führen (Bild 2). Da sie aber im Normalfall die Scheibenfestigkeit nicht verändern, ist das Klangbild hierdurch nicht beeinflusst bzw. verändert. Solche Qualitätsmängel müssen daher optisch geprüft werden. Bei der optischen Prüfung gibt es je nach Werkstoff ebenfalls unterschiedliche Kunstkniffe, um Schäden besser herauszuarbeiten. Neben einer guten Beleuchtung können Farb- oder Polarisationsfilter die Kontraste erhöhen.



Bild 2: Oberflächliche Pore wird optisch erkannt

Realisierbare Lösungen mit Akustik

Die akustische Prüftechnik ist vielseitig. Am bekanntesten ist sicher die **Eigenfrequenzmessung**. Die Frequenz, mit der ein System nach einmaliger Anregung schwingt, ist quasi dessen Sprache. Mit ihr lassen sich die Eigenschaften eines Werkstücks bestimmen, die Güte eines Bauteils ermitteln oder Toleranzen überwachen. Auch die **Rissprüfung** macht sich dies zu Nutze ebenso wie die **Gefügeprüfung** zum Beispiel bei der Inspektion von Gussgefügen, beim Ermitteln von **Härteunterschieden** oder der Porosität eines Werkstücks. Gegebenenfalls sind Einflüsse wie Alter, Temperatur oder Masse rechnerisch zu kompensieren. Darüber hinaus lassen sich mit akustischer Prüftechnik generell alle auftretende Geräusche aufnehmen und auswerten. Diese **Geräuschprüfung** erlaubt somit sowohl Luft- als auch Körperschallmessungen sowie das Erfassen stationärer und instationärer Geräusche. Auch in der Psychoakustik, die sich mit Einflüssen von Schall auf den Menschen beschäftigt, finden sich natürlich Einsatzbereiche für akustische Prüftechnik. Zur **Schwingungsüberwachung** gehört auch das Überwachen von Betriebschwingungen oder Zuständen, die unter anderem fürs Condition Monitoring zur Instandhaltung von Maschinen oder Anlagen ausgewertet werden. Und schließlich lässt sich die akustische Prüfung auch mit **Funktionsprüfungen** kombinieren, indem zum Beispiel gleichzeitig die Stromaufnahme, Drehzahl oder das Drehmoment von Antrieben gemessen und überwacht werden.

In der Praxis

Als Vergleichswert für die Messergebnisse „gut“ bzw. „schlecht“ wird das Klangbild von fehlerfreien Brems scheiben aufgenommen und ausgewertet. Wenn man einen Körper anschlägt, dann schwingt er in seinen Resonanzfrequenzen. Ein Rechner ermittelt aus den verstärkten und über A/D-Wandler digitalisierten Signalen einzelne Frequenzanteile und Frequenzlinien. Er verwendet hierzu spezielle mathematische Verfahren wie eine Fast Fourier Transformation (FFT). Aus den Resonanzfrequenzen lassen sich nun die werkstückspezifischen akustischen Kennwerte, der so genannte „finger print“, berechnen und Güte Merkmalen zuordnen. Als Ergebnis bekommt man eine Aussage über das Prüfobjekt insgesamt. Der Prüfling wird als in Ordnung oder fehlerhaft bewertet. Diese Prüfentscheidung fällt zerstörungsfrei und innerhalb kurzer Zeit. Alle „inneren Werte“, die Einfluss auf das Material und sein Schwingungsverhalten haben, sind so überprüfbar. Neben Fehlern wie Rissen zählen dazu z. B. auch Gefügeveränderungen durch Produktionsschwankungen.

Unterschiedliche Anforderungen erfordern unterschiedliche Prüfplätze. So sind im Forschungs- oder Laborbereich manuelle Einzelprüfplätze (Bild 3) ideal, für den Einsatz in der Produktion dagegen bedarf es vollautomatischer Prüfabläufe mit angeschlossener Prüfdatenerfassung (Bild 4). RTE erarbeitet dazu je nach Fall zusammen mit dem Anwender zuerst die Grundlagen des Prüfablaufes. Nach diesen Kriterien wird dann ein der Produktion angepasster Messplatz aufgebaut. Für die Qualitätssicherung der Brems scheiben wurde daher neben der akustischen Kontrolle noch eine zusätzliche optische Kontrollinstanz mit einbezogen. Das Zusammenspiel beider Prüfmethoden ergibt dann eine hundertprozentige Aussage darüber, ob ein Teil den Vorgaben entspricht oder nicht. Alle Messwerte können vollautomatisch in einer Datenbank abgelegt werden, um der Dokumentationspflicht und Rückverfolgbarkeit der Scheiben zu entsprechen. Je nach Anwendungsfall lassen sich bestehende Anlagen nachrüsten, wie auch neue Systeme schlüsselfertig aufbauen.

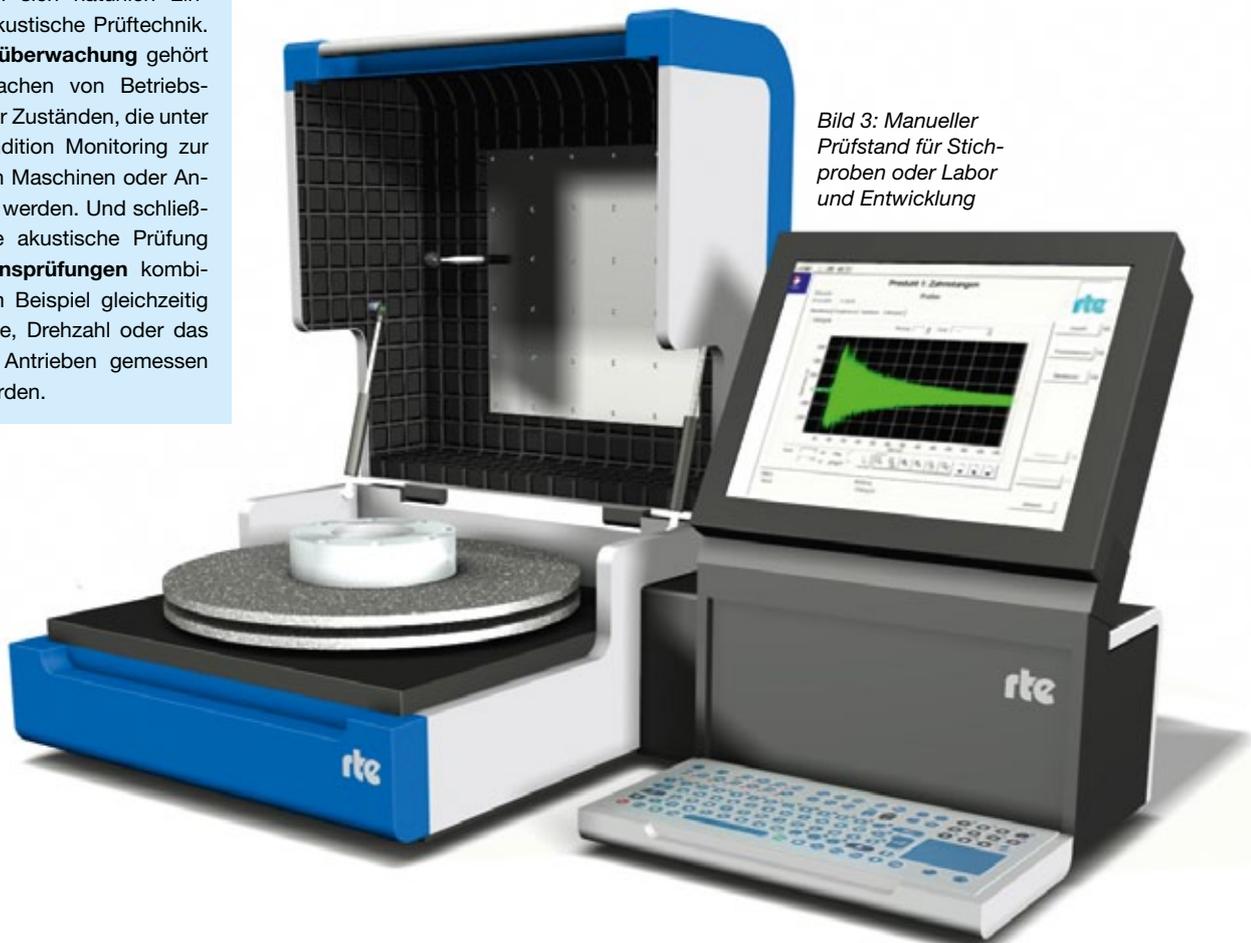


Bild 3: Manueller Prüfstand für Stichproben oder Labor und Entwicklung

Um das Quietschen von Bremsen zu vermeiden, gewinnt die Erfassung der modalen Kenngrößen von Bremsscheiben zunehmend an Bedeutung. Neben der Bestimmung der Eigenfrequenzen ist auch die Dämpfung bzw. reziprok die Güte Q zu bewerten. Die zu untersuchende Bremsscheibe wird durch einen elektromagnetisch betriebenen Impulshammer unter verschiedenen Winkelpositionen zum Schwingen angeregt. Ein Messmikrofon zeichnet die Resonanzantwort des Körpers im Nahfeld auf. Das gemessene Signal enthält Werkstückresonanzen, die aufgrund der inneren Dämpfung mehr oder weniger schnell abklingen.

Weitere Einsatzbereiche für akustische Materialprüfung

Neben den beschriebenen Anwendungen finden sich weitere Einsatzbereiche für akustische Materialprüfung z. B. in folgenden Branchen:

Bauindustrie – z. B. für die Qualitätsprüfung von:

- Pflastersteinen
- Tondachziegeln
- Rohren

Fertigungstechnik – z. B. für die Qualitätsprüfung nach:

- Urformprozessen, wie Metallgießen, Sintern,
- Umformprozessen, wie Mehrstufenumformung, Hydroumformung, Schmieden
- Trennen, wie Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen
- Verbindungsprozessen, wie Reibschweißen, Löten, Fügen

Keramische Industrie – z. B. für die Qualitätsprüfung von:

- Bremsscheiben
- Haushaltskeramik
- Industriekeramik

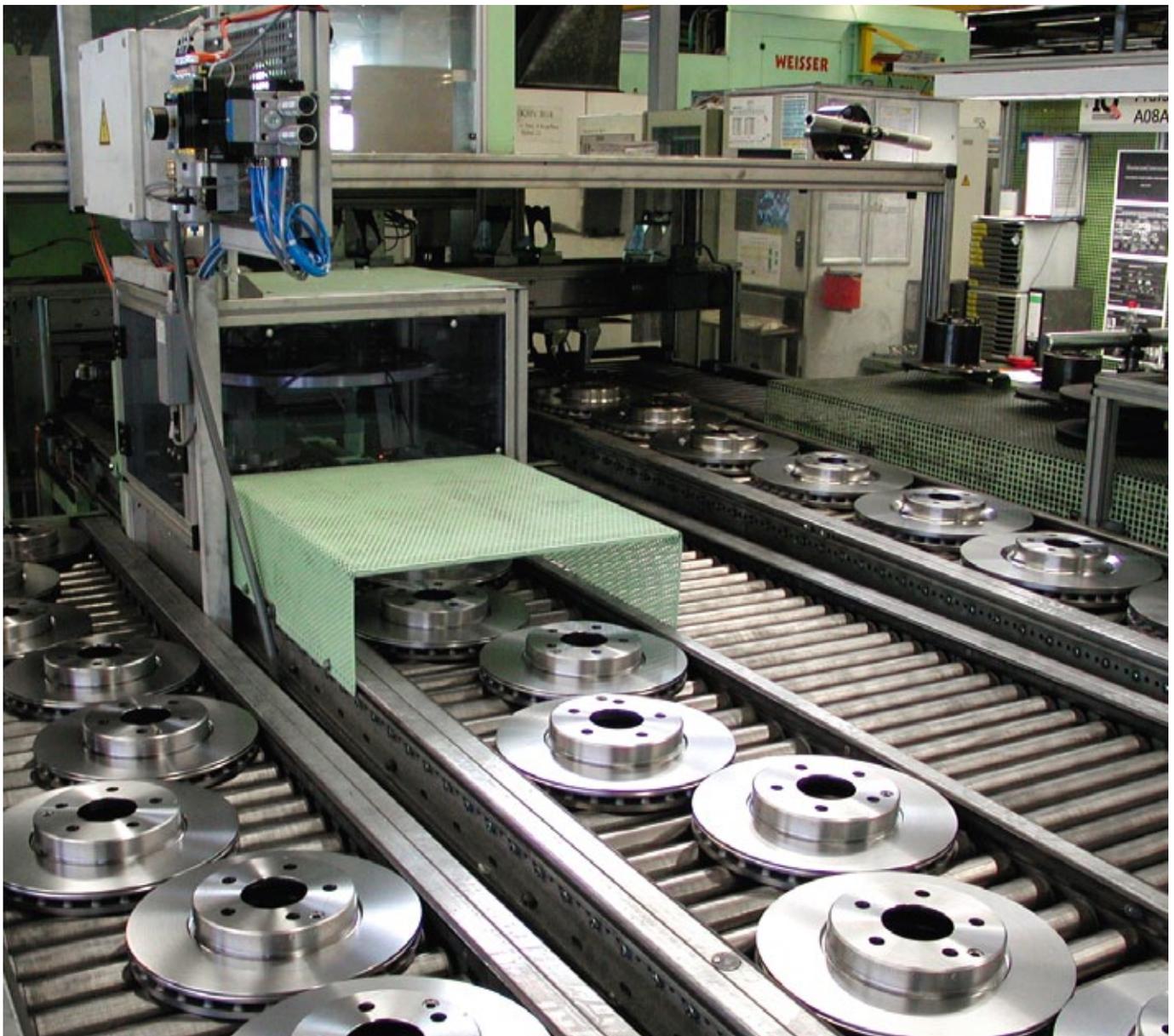


Bild 4: Einsatzbeispiel des Prüfstands für Eigenfrequenz- und Rissprüfung in der Fertigung

Akustische Prozesskontrolle bei Verpackung und Montage

ONLINE-FEHLERERKENNUNG IST LEICHT NACHRÜSTBAR

Fehler in Maschinen und Anlagen kosten die Betreiber viel Geld. Störungen erzeugen jedoch häufig spezifische, kurzzeitige Geräusche, die sich mit moderner Rechner- und Sensorik auch aus einem breiten Lärmspektrum gezielt herausfiltern lassen. Maschinen und Produkte können so relativ leicht geschützt werden. Umgekehrt gibt es aber auch Geräusche, die erfolgreiche Aktionen signalisieren, beispielsweise der Einrastklick bei der Montage eines Steckers. Nutzt man sie, lassen sich Prozesse zuverlässig überwachen. Geräte zur akustischen Analyse sind universell, schnell und lassen sich auch an schwer zugänglichen Maschinen relativ leicht nachrüsten. Erstaunlich ist nur, dass man sie nicht häufiger in Anlagen findet.



Bild 1: Akustisch überwacht: eine Verpackungsmaschine für Halogenleuchtmittel

Viele kennen Glasbruchmelder, wie sie in Alarmanlagen an Fensterscheiben eingesetzt werden. Diese einfachen Sensoren sprechen nur auf die spezifischen Frequenzen brechenden Glases an und bleiben von anderem Schall unbeeindruckt. Dieses altbekannte Verfahren hat RTE auf eine breitere Basis gestellt und für den praxistauglichen industriellen Einsatz weiterentwickelt. Dabei wird über ein Mikrofon oder Körperschallsensor ein Schallereignis aufgenommen und daraus per Frequenzanalyse über eine Fourier Transformation ein individuell wählbares Frequenzmuster herausgefiltert. Die so gewonnene Information wird mit dem Spektrum im Normalzustand verglichen. Deutliche Abweichungen kennzeichnen dann zuverlässig die Störung. Mit dieser Methode lässt sich nicht

nur die Güte eines Materials bewerten, sondern ganze Prozesse überwachen wie zum Beispiel Montage-, Füll- oder Fügeprozesse.

Fehlererkennung leicht gemacht

Oft sind zu überwachende Anlagen nicht gerade besonders zugänglich aufgebaut (Bild 1). Auch erschweren oft Umgebungsbedingungen wie Hitze, Schmutz oder Umweltlärm die Arbeit eines Sensors für die Fehlererkennung. Hier bieten akustische Prüfverfahren deutliche Vorteile auch bei einer nachträglichen Aufrüstung. Da sich Schallwellen leicht ausbreiten, ist es nicht notwendig, den Sensor, sprich das Mikrofon oder den Körperschallsensor, direkt am Ort des Ereignisses anzubringen. Dadurch ist das Verfahren auch bei beengten Platzverhältnis-

sen gut einsetzbar. Die von den Störungen verursachten kurzzeitigen Geräusche können ausgefiltert und als „Erkennungsmelodie“ des Schadensereignisses ausgewertet werden. Ein Einsatzbereich dieser Erkennungsmethode ist unter anderem das spezifische Knacken beim Einrasten von Montage- oder Halteklippen. Hier dient das gefilterte Frequenzmuster als Positivkontrolle, aber auch das Gegenteil ist möglich. So können beispielsweise Fremdkörper in Mahlwerken durch Knackgeräusche sicher erkannt werden oder bei Verpackungsmaschinen ungewöhnliche Geräusche einen fehlerhaften Betriebszustand anzeigen. Dabei reichen im Normalfall Luftschallmikrofone als „Sensorkopf“ aus. Bei besonders schwierigen Bedingungen wie zum Beispiel starkem Umgebungslärm oder in speziell gekapselten Bereichen helfen Körperschallsensoren weiter, die an schalleitende Maschinenelemente montiert werden. Sie messen auch „versteckte“ Geräusche.

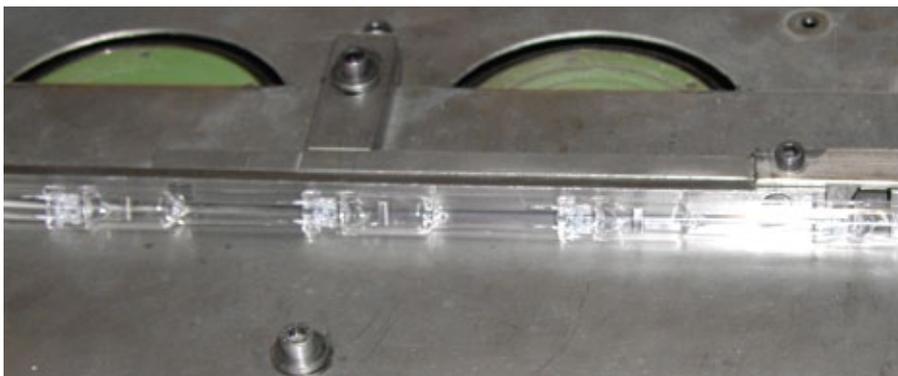


Bild 2a: Halogenleuchtmittel im Verpackungsschlauch aufgereiht vor der Versiegelung



Bild 2b: Leuchtmittel fertig versiegelt

Weitere Einsatzbereiche für akustische Prozesskontrolle

Akustische Prozesskontrolle eignet sich für den Einsatz überall da, wo im Gut- oder Schlecht-Fall während des Prozesses charakteristische Geräusche auftreten.

Automobilindustrie – z. B. zum Überwachen von:

- Steckverrastungen
- Schweißprozessen
- Klebprozessen
- Reifenbefüllung

Montagetechnik – z. B. zum Überwachen von:

- Baugruppenmontage
- Steckverrastungen

Pharmazeutische Industrie – z. B. zum Überwachen von:

- der Verbördelung von Arzneifläschchen
- Pipetten auf Glasbruch

Verpackungsindustrie:

- Dichtheitsprüfung

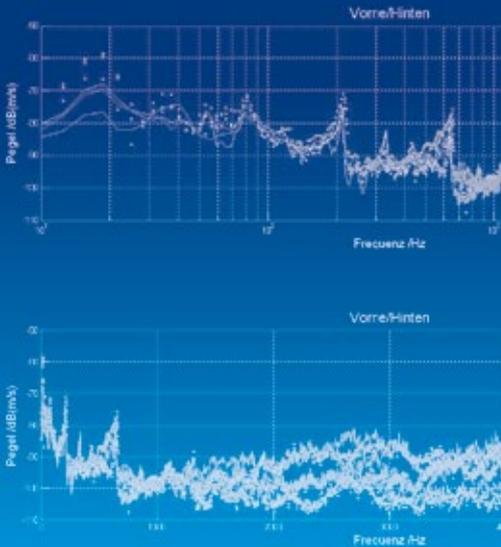


Bild 3a: Blick von der Auswurfseite. Das schwarze Sensor-Mikrofon links ist einfach am Maschinenrahmen angeschraubt



Bild 3b: Richtige Einstellung ist wichtig, die Verschlusswalze muss knapp hinter dem Leuchtmittel versiegeln

Praxisbeispiel Verpackungsanlage

Eingesetzt wird die Methode zum Beispiel zur Fehlererkennung bei der Verpackung von Halogenleuchtmitteln in Plastikhüllen (Bild 2a, b). Hier schützt die akustische Analyse sowohl die Anlage als auch die Leuchtmittel zuverlässig bei Störungen im Betriebsablauf. Im Normalfall laufen die einzelnen Leuchtmittel in definierten Abständen in einem Endloschlauch auf einem Förderband. Die Folie wird dann durch Walzen mit Heizelementen in einer Schlauchbeutelmaschine an den Enden verschweißt und dabei gleichzeitig abgeschnitten. Die individuell verpackten Leuchtmittel sind so vor Schmutz sicher geschützt. Kommen nun Leuchtmittelzufuhr und Walzen außer Takt, trifft die Walze nicht mehr den Folienabschnitt zwischen den Birnen. Stattdessen schlägt sie auf das vordere oder hintere Ende der Halogenleuchtmittel. Dabei zerstört sie die Birne. Auch die Verschlusswalze mit den Heizelementen leidet darunter. Eine solche Störung muss schnell und sicher erkannt und die Anlage bis zur Neuabstimmung angehalten werden.

Die akustische Fehlerkontrolle arbeitet in diesem Fall mit einem Luftschallmikrofon, das die Maschinengeräusche der Anlage aufnimmt (Bild 3a, b). Berührt oder zertrümmert die Schneidwalze eine Birne, entsteht ein spezifisches, knirschendes Geräusch. Für

die Fehlerauswertung werden die Frequenz-Aufnahmen aus dem Normalbetrieb mit denen des Störfalles verglichen und eine Bewertungsmethode dafür entwickelt. Das gefilterte Frequenzband der Störung tritt dann sehr deutlich hervor mit ca. 10 dB höherem Pegel als bei einem ordentlichen Schweißvorgang. Die Auswertung des vom Mikrofon aufgenommenen Schalls übernimmt ein Prozessor, der als schneller digitaler Filter mit beliebigen Bandgrenzen arbeitet. Als Ausgangssignal zur Anlagensteuerung wird über einen Signalwandler ein Digitalsignal ausgegeben. So kann die Steuerung nach Eingang der Information „Leuchtmittel getroffen“ die Verpackungsanlage sofort stoppen und die beschädigten

Leuchtmittel ausschleusen. Dies verhindert größere Schäden an der Anlage und die Zerstörung weiterer wertvoller Halogenbirnen. Moderne akustische Sensoren eröffnen heute völlig neue Wege der Prozesskontrolle. Individuell auf spezifische Frequenzen oder Frequenzmuster abgestimmt detektieren sie sicher das vorgegebene Ereignis. So lassen sich auf einfache Weise Fehler erkennen, aber auch Geräusche, die eine erfolgreiche Aktion „quittieren“. Die einfache, nicht fest an einen Ort gebundene Installation erleichtert dabei auch die Nachrüstung bestehender Anlagen. Teure Maschinenstandzeiten und Instandsetzungsarbeiten werden so seltener, die Zuverlässigkeit der Anlage steigt deutlich an.

RTE Prüftechnik bewertet Ihre Produktqualität so schnell und wachsam wie ein Luchs!

Wir hören Qualität

Mess- und Prüftechnik

- Prüfung von Komponenten im Fertigungstakt
- Prüftechnik und Prüfvorrichtungen
- Geräte- und Gesamtlösungen
- Objektive akustische Bewertung

Lösungen für die Fertigung

- Eigenfrequenzmessung
- Geräusch- und Funktionsprüfung
- Akustische Materialprüfung
- Akustische Prozesskontrolle
- Prüfstände und Vorrichtungen

Ihr Nutzen

- Sie sparen Geld und Zeit
- Mit RTE kommen Sie schneller ans Ziel
- Sie heben sich vom Wettbewerb ab
- Dokumentation und Rückverfolgbarkeit



RTE Akustik + Prüftechnik GmbH
Gewerbestr. 26
76327 Pfinztal/Karlsruhe
Deutschland

Kontakt
www.rte.de
info@rte.de
Telefon: +49 721 94650-0

Herausgeber:

RTE Akustik + Prüftechnik GmbH
Gewerbestr. 26
D-76327 Pfinztal
www.rte.de
info@rte.de

Text und Redaktion:

rbs Redaktionsbüro Stutensee
Am Hasenbiel 13-15
D-76297 Stutensee
www.rbsonline.de
kontakt@rbsonline.de

Gestaltung:

close-cut multimedia design
Kiefernweg 10
D-76356 Weingarten
www.close-cut.de
info@close-cut.de

