

# Hören, wo's knirscht

Akustisches Sensorsystem zur Montageendkontrolle oder Betriebsüberwachung mittels kognitiver Signalanalyse

*Beim Betrieb technischer Systeme entstehen oft charakteristische Schwingungen und Geräusche. Defekte oder Montagefehler können sich in einem zusätzlichen Schleifen oder Quietschen äußern. Das akustische Sensorsystem AcoustiX dient zur objektiven Erkennung solcher Auffälligkeiten – unter anderem bei einem Zulieferer von John Deere.*

Die meisten Leser kennen wohl Situationen, bei denen Rückschlüsse oder Einschätzungen getroffen werden, die auf Informationen beruhen, die wir per Gehör wahrnehmen. So hört ein Arzt den menschlichen Körper mit einem Stethoskop ab und entscheidet anhand dessen, ob beispielsweise die Lunge betroffen ist oder die Bronchien angeschlagen sind. Ein erfahrener KFZ-Mechaniker kann gegebenenfalls anhand der Geräusche eines laufenden Motors erkennen, ob gewisse

Komponenten defekt sind. Auch im privaten Umfeld führen wir akustische Prüfungen durch, zum Beispiel bei der Verwendung von Alltagsgegenständen oder Haushaltsgeräten. Dies erfolgt teilweise bewusst, oftmals aber auch solange unbewusst, bis unerwartete Geräusche, die sich nicht mit dem erwarteten oder gewohnten Verhalten decken, unsere Aufmerksamkeit wecken. Diese Beispiele belegen anschaulich, dass akustische Signale umfangreiche Informationen zum Zustand

eines Objekts liefern. Dies kann auch im industriellen Einsatz ausgenutzt werden, wobei die Rolle des Arztes oder Mechanikers hier von AcoustiX übernommen wird – einem System, das auf Basis eines innovativen Algorithmus verdächtige Schwingungs- oder Geräuscheignisse erkennt.

## Schwachstelle Mensch

So erzeugen Maschinen und Anlagen in der Regel charakteristische Schwingungen und Geräu-



sche, die vom Betriebszustand abhängen. Diese können Auskunft über die Qualität geben, da Montagefehler oder andere Defekte oftmals eine Veränderung der Betriebsgeräusche zur Folge haben. Zur Bewertung dessen bzw. zur Erkennung entsprechender Abweichungen wird oft geschultes oder erfahrenes Fachpersonal eingesetzt, welches die Geräusche analysiert. Das menschliche Gehör unterliegt jedoch gewissen Limitierungen hinsichtlich der wahrnehmbaren Frequenzen und Schalldrücke und ist auch nur eingeschränkt in der Lage, Veränderungen oder Auffälligkeiten zu erkennen. Zudem unterliegen solche Prüfungen stets einer gewissen Subjektivität und sind mit Nachteilen wie der Ermüdung des Personals oder des Störeinflusses durch Umgebungslärm verbunden.

### **Schwachstelle verfügbarer Lösungen**

Auf dem Markt verfügbare akustische Prüfsysteme ermöglichen die objektive Erkennung auffällig schwingender oder klingender Erzeugnisse, benötigen allerdings oftmals eine aufwendige explizite Kalibrierung an repräsentativen Komponenten. Zudem wird das Geräusch- oder Schwingungsverhalten in vielen Fällen auf wenige akustische Kenngrößen wie Frequenzen oder Amplituden reduziert. Im einfachsten Fall werden beispielsweise dominante Frequenz- und Amplitudenwerte aus repräsentativen Akustikdaten extrahiert. Für diese werden dann Toleranzbereiche festgelegt, welche anschließend die Grundlage für eine Prüfentscheidung darstellen. Problematisch bei einem solchen Ansatz ist es, dass bereits geringe konstruktive Anpassungen die beobachteten Akustikmerkmale signifikant beeinflussen können. In einem solchen Fall muss eine erneute Kalibrierung durchgeführt werden, da ansonsten die Verlässlichkeit einer Prüfung negativ beeinflusst werden kann. Falls verschiedene Bauformen oder Varianten von Komponenten oder Maschinen analysiert werden sollen, besteht außerdem eine weitere Herausforderung bei der absoluten Bewertung akustischer Merkmale darin, dass eine möglichst umfangreiche Stichprobe für jeden konstruktiv unterschiedlichen Typ benötigt wird, um eine aus statistischer Sicht verlässliche Kalibrierung zu gewährleisten.

### **Lösung der Schwachstellen**

Zur Lösung der beschriebenen Problematik hat das Fraunhofer IZFP AcoustiX entwickelt – ein akustisches Sensorsystem mit kognitiver Signalauswertung. Der Ansatz ähnelt der subjektiven Erkennung auffälliger und unerwarteter Schallereignisse durch einen Menschen, liefert jedoch objektive und reproduzierbare Ergebnisse. Konkret werden Betriebsschwingungen und/oder -geräusche durch geeignete Sensoren erfasst und digitalisiert, anschließend in zeitlich kurze Segmente eingeteilt, gefiltert und transformiert. Abschließend werden aufeinanderfolgende Signalabschnitte mit geeigneten mathematischen Methoden verglichen. Unerwartete Schwingungen oder Geräusche ergeben Unterschiede zwischen den Segmenten, was vom System erkannt und angezeigt wird. Die Algo-



Betriebsschwingungen und/oder -geräusche werden durch geeignete Sensoren erfasst und digitalisiert, anschließend in zeitlich kurze Segmente eingeteilt, gefiltert und transformiert. Abschließend werden aufeinanderfolgende Signalabschnitte mit geeigneten mathematischen Methoden verglichen. Unerwartete Schwingungen oder Geräusche ergeben Unterschiede zwischen den Segmenten, was vom System erkannt und angezeigt wird.

rithmen benötigen dabei kein Vorwissen. Erforderlich sind lediglich einige Vergleichssignale zur grundlegenden Software-Parametrierung, wodurch vor allem die Empfindlichkeit zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten gesteuert wird.

### Kontrolle der Endmontage von Mähreschneidwerken

Aktuell ist ein AcoustiX-System bei einem Zulieferer von John Deere im industriellen Einsatz. Es wird dort zur Überwachung der korrekten Endmontage in der Serienfertigung von Mähreschneidwerken eingesetzt, die auf einem Prüfstand betrieben werden. Herausfordernd bei der Anpassung auf diese Prüfaufgabe war unter anderem der typische produktionsbedingte Lärmpegel, das Ziel der Analyse von vielen verschiedenen Bauformen sowie die Komplexität und der Umfang der Schwingungsdaten. Eine im Rahmen der Algorithmenanpassung durchgeführte Validierung zeigte, dass sich die Prüfentscheidungen des Systems in den allermeisten Fällen mit der subjektiven Geräuschbewertung durch einen Experten decken. In einigen Fällen wurden nachweislich sogar Montagefehler erkannt, die vom Menschen zunächst überhört und erst im Rahmen einer nachträglich erneut durchgeführten Beurteilung bestätigt wurden.

### Simultane, objektive Bewertung akustischer Signale mehrerer Sensoren

Der Ansatz von AcoustiX kann vielfältig genutzt werden zum Beispiel zur Montageendkontrolle oder für ein permanentes Qualitätsmonitoring. Prinzipiell ist eine Verwendung überall dort möglich, wo Maschinen, Anlagen oder bewegte Komponenten charakteristische Geräusche emittieren und Fehler oder Defekte erkannt werden sollen, die sich signifikant im akustischen Verhalten widerspiegeln. AcoustiX bietet dem Kunden dabei eine hohe Prüfsicherheit, da eine simultane, objektive Bewertung akustischer Signale mehrerer Sensoren erfolgt. Die Algorithmik basiert, analog zur kognitiven Bewertung von Geräuschen durch einen Menschen, auf einer Auffälligkeitserkennung akustischer Ereignisse, die im normalen Betrieb nicht auftreten. Dieser Ansatz hat zur Folge, dass keine aufwendige Kalibrierung hinsichtlich klassischer akustischer Merkmale erforderlich ist. Somit bietet AcoustiX die Möglichkeit, den Einrichteaufwand für eine spezielle Prüfaufgabe insbesondere dann deutlich zu reduzieren, falls verschiedene Bauformen der relevanten Komponenten analysiert werden sollen oder regelmäßig konstruktive Anpassungen vorgenommen werden. Die benutzerfreundliche und die spezifisch nach Kundenwünschen ange-

passte Prüf-Software zeigt dabei auffällige Komponenten unmittelbar, zum Beispiel mit Hilfe einer Ampeldarstellung, an, was einen schnellen Eingriff bei Unregelmäßigkeiten erlaubt. Die Bediensoftware inklusive der Auswertalgorithmik kann auch, geeignete Schnittstellen vorausgesetzt, in bestehende Prüfsysteme integriert werden.

### Autor

Thomas Waschkies, Gruppenleiter 3D-Akustik

Bilder © Fraunhofer IZFP/Uwe Bellhäuser

### Kontakt

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken  
Tel.: +49 9302 36 37 · [www.izfp.fraunhofer.de](http://www.izfp.fraunhofer.de)