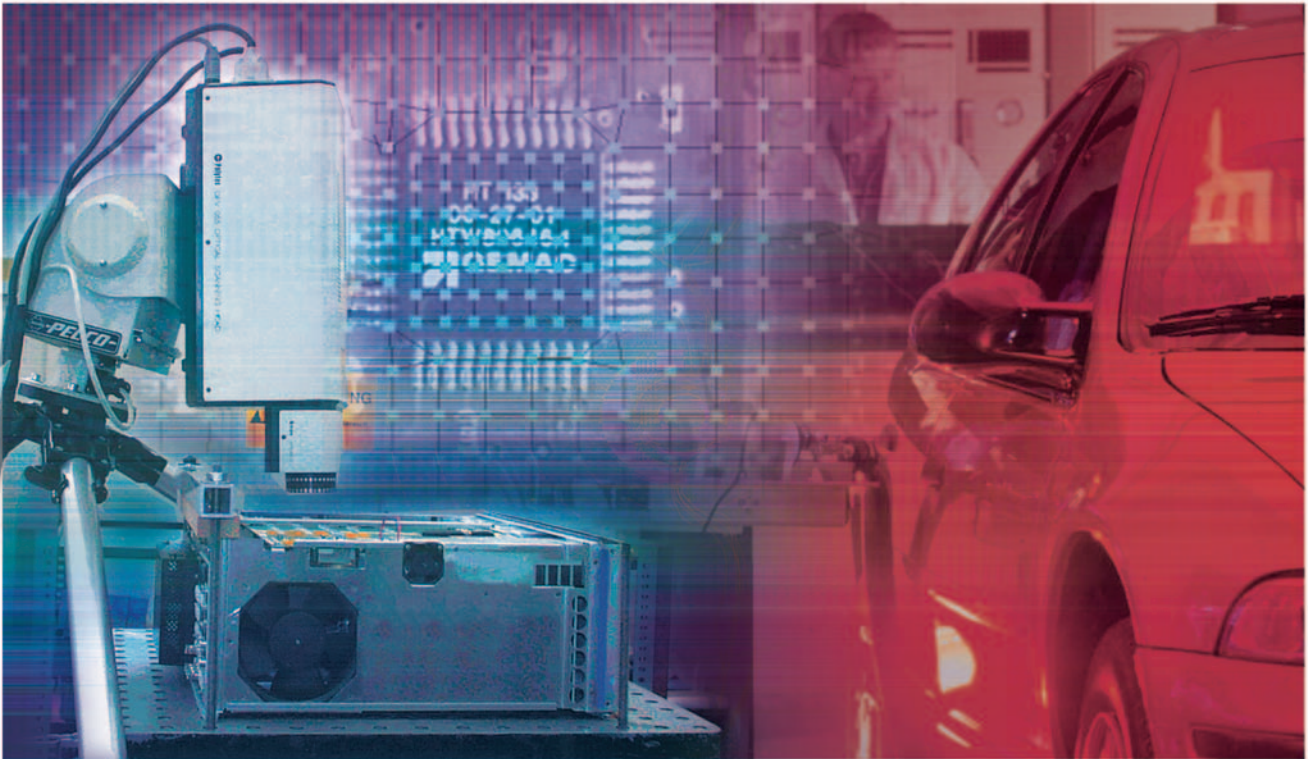


# Auf Dauer zuverlässig



## Charakterisieren thermomechanischer Eigenschaften von Sensoren mittels Laservibrometrie

*Mikromechanische Sensoren haben in den letzten Jahren die Technik des Alltags erobert und werden zunehmend auch in sicherheitsrelevanten Bereichen, beispielsweise in der Automobiltechnik, eingesetzt. Die Langzeitzuverlässigkeit der Sensoren hat deshalb in allen Stufen der Sensorentwicklung und -produktion einen herausragenden Stellenwert und wird mittels leistungsfähiger Messverfahren kontrolliert.*

### Thermomechanische Sensoreigenschaften

Mikromechanische Sensoren besitzen je nach Aufgabenbereich ein unterschiedliches Layout aus wechselnden Aufbauten, Werkstoffen und Füge-techniken. All das bestimmt die thermomechanischen Eigenschaften und wirkt sich im spezifischen Verformungs- und Dehnungsverhalten bei thermischer und/oder statischer Belastung, aber auch im Schwingungsverhalten aus. Die Langzeitstabilität dieser Eigenschaften ist entscheidend für die Langzeitzuverlässigkeit der Sensoren.

### Messverfahren

Die thermomechanischen Eigenschaften werden mit unterschiedlichen, berüh-

rungslos arbeitenden Methoden und Werkzeugen gemessen. Zur Messung von Verformungen dienen ESPI-Methoden oder die Grauwertkorrelationsverfahren. Das Schwingungsverhalten mikro-mechanischer Sensoren lässt sich mit Hilfe der Laservibrometrie charakterisieren. AMITRONICS verwendet hierzu ein Einpunkt-Vibrometer und ein PSV Scanning Vibrometer. Die laterale Auflösung dieser Vibrometer und damit die kleinste messbare Strukturgröße ist durch die Größe des Laserfokus bestimmt, die im Bereich weniger Mikrometer liegt (in diesem Fall ca. 30 µm). Das Scanning Vibrometer (Titelbild) eignet sich besonders gut zum thermo-mechanischen Charakterisieren elek-

tronischer Baugruppen, weil es die Ergebnisse flächenhaft als animierte Schwingformen darstellt.

### Grundlagen

Die Charakterisierung des dynamischen Verhaltens einer Baugruppe basiert auf der spektralen Lage signifikanter Eigenfrequenzen, den dazugehörigen Schwingformen und den gemessenen Amplituden. Ändern sich z. B. die Eigenschaften der Fügestellen infolge von Alterung, Ermüdung oder Umwelteinflüssen, so ändern sich oftmals auch die dynamischen Eigenschaften des Sensors, was sich dann im Schwingungsverhalten messen lässt. Werden schwingungsrelevante Strukturelemente „weicher“, so verschieben sich die

Eigenfrequenzen zu tieferen Frequenzen hin (Bild 2). Erhöht sich die Steifigkeit, verlagern sich die Eigenfrequenzen zu höheren Werten hin. Rissbildungen und Brüche bewirken neben einer Frequenzabsenkung auch Änderungen in den Schwingformen, insbesondere im oberen Frequenzbereich.

### Typischer Ablauf einer Charakterisierung

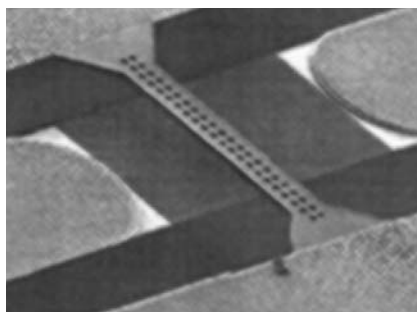
Zunächst wird ein geeigneter Messaufbau konzipiert. Die Anregung des Bauteils kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen: als Eigen- und als Fremderregung. Schaltsensoren beispielsweise, deren Arbeitsprinzip bereits auf einer Anregung basiert, benötigen keine Fremderregung. Bei Beschleunigungssensoren und anderen Sensoren erfolgt dagegen Fremdanregung mit piezokeramischen Elementen.

Das Titelbild zeigt den Messaufbau und dem PSV Scanning Vibrometer mit Koaxialvorsatz sowie das zum Abscannen der Sensoroberfläche definierte Messgitter. Dieses folgt der Bauteilgeometrie und berücksichtigt schwingungsrelevante Steifigkeitssprünge.

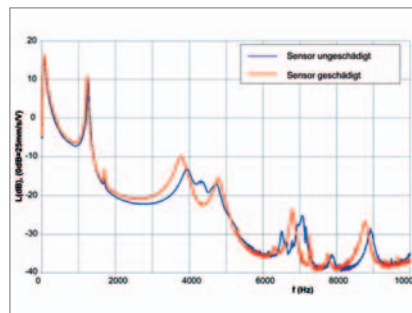
Die Messergebnisse zeigen anhand von signifikanten Amplitudenüberhöhungen oder Eigenfrequenzkopplungen mögliche schwingungstechnische Schwachstellen an. Nachfolgend wird das Beschriebene anhand einiger Applikationen verdeutlicht.

### Applikationen

Bild 1 zeigt einen Neigungssensor. Dieser wurde vor und nach einer Temperaturbelastung zwischen  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  (500 Zyklen) untersucht.



**Bild 3: HF-MEMS-Schalter**  
(Bild: R. Bosch GmbH)



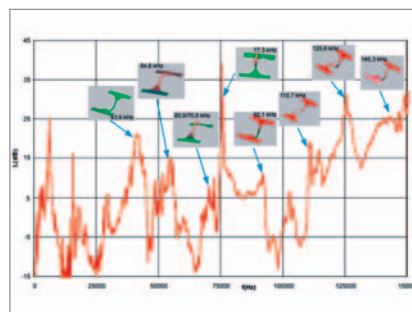
**Bild 2: Frequenzgang beim Neigungssensor**

In Bild 2 ist der Frequenzgang eines ungeschädigten und vergleichend dazu der eines geschädigten Sensors bei Fremderregung dargestellt. Deutlich erkennbar ist eine Frequenzverschiebung zu tieferen Frequenzen hin.

Der HF-MEMS-Schalter gehört zur zweiten Art von Sensoren, deren Schwingungsverhalten untersucht wurde (Bild 3). Der Schaltvorgang (elektrostatisch) ist durch eine Eigenerrregung gekennzeichnet. Darüber hinaus lässt sich der Sensor auch mit einem Piezo-Shaker fremd anregen. Für das thermomechanische Charakterisieren ist besonders das Verhalten der Brückenstruktur interessant. Bild 4 gibt erste Ergebnisse derartiger Untersuchungen wieder. Diese dienen auch zum Validieren eines FEM-Modells.

### Sensoreigenschaften und Langzeitverlässigkeit

Das Schwingungsverhalten eines intakten Sensors über einen breiten Frequenzbereich kann als Basiszustand definiert werden. Durch ein Monitoring des Schwingungsverhaltens

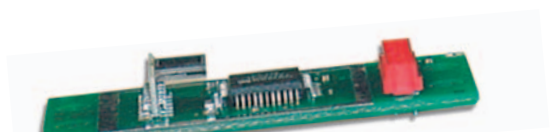


**Bild 4: Frequenzverhalten und Schwingform**

und einem Vergleich mit dem Basiszustand lassen sich Änderungen in den Sensoreigenschaften bereits frühzeitig erkennen, ohne dass es bereits zur Funktionsbeeinträchtigung gekommen sein muss. Die Langzeitverlässigkeit von Sensoren lässt sich also durch ein geeignetes Monitoring des Sensors selbst oder bestimmter lebensdauerrelevanter Baugruppen des Sensors überwachen. Das Monitoring kann von außerhalb geschehen oder durch eine Überwachung der Eigenerrregung, also der eigentlichen Sensorfunktion (beispielsweise Schaltfunktion).

### Zusammenfassung

Mittels berührungslos arbeitender Laservibrometrie lässt sich anhand der spektralen Lage signifikanter Eigenfrequenzen, den dazugehörigen Schwingformen und Amplituden das thermomechanische Verhalten von Sensoren charakterisieren. Rissbildungen und Brüche bewirken neben einer Frequenzverschiebung auch Änderungen in den Schwingformen. Die Langzeitstabilität des thermomechanischen Verhaltens kann sowohl durch externe Messungen überwacht werden als auch über ein Monitoring der Eigenerrregung, beispielsweise bei Schaltfunktionen.



**Bild 1: Neigungssensor**  
(Hersteller: GEMAC mbH)

### AUTOREN · KONTAKT

René Schnitzer,  
Dr.-Ing. Norbert Rümmler  
AMITRONICS Angewandte  
Mikromechatronik GmbH  
D-82229 Seefeld b. München  
info@amitronics.de