

Kalibrierung von Körperschallsensoren

Peter Holstein¹, Christian Probst¹, Andreas Tharandt¹, Philipp Begoff², Henning Schulze²

¹ SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Nauendorfer Str. 2,
06112 Halle (Saale), peter.holstein@sonotec.de

² Spektro SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden,
Heidelberger Str. 12, 01189 Dresden, Philipp.Begoff@spektro-dresden.de

Einleitung

Für Körperschallsensoren gibt es vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Instandhaltung. Beispiele sind die Maschinendiagnose, die Überwachung von Strömungsmaschinen oder auch von Strukturen und Bauteilen. Mit diesen Sensoren kann ein größerer Frequenzbereich (insbesondere höhere Frequenzen) als mit Vibrationssensoren überdeckt werden. Allerdings sind die Kennlinien nichtlinear. Damit ist eine Quantifizierung schwierig und oft nicht eindeutig physikalisch interpretierbar. Weiterhin ist eine direkte Vergleichbarkeit mit Vibrationssensoren nicht ohne weiteres möglich. Körperschallsensoren, die aus piezoelektrischen Kompositmaterialien aufgebaut sind, können ein Kennlinienverhalten aufweisen, dass weniger ausgeprägte Nebenresonanzen aufweist. In gewissen Grenzen kann die Kennlinie linearisiert werden kann. Im Beitrag werden die Rahmenbedingungen zur Bestimmung der Kennlinien von Sensoren, die aus diesen Materialien aufgebaut sind, diskutiert.

Motivation und Umsetzung

Ultraschall gewinnt in der Instandhaltung zunehmend an Bedeutung. Im Bereich des Körperschalls sind es vor allem die Methoden der *Akustischen Emission*, die verbreitet sind. Seit einigen Jahren gibt es verstärkt Anstrengungen Ultraschallverfahren für die Instandhaltung verfügbar zu machen. Dabei gibt es Trends, die Verfahren der *Technischen Akustik* in einen etwas höheren Frequenzbereich auszudehnen. Typisch für den Instandhaltungsumschall sind Frequenzen bis ca. 100 kHz. Dieser Frequenzbereich wird in der Praxis vor allem mittels analog geprägter Prüftechnik vertreten. Einfache Resonanzsensoren (Körperschall und Luftschall) sind in einem engen Frequenzbereich (um 40 kHz) empfindlich. Dies hat zwar den Vorteil, dass betriebsbedingte „Störgeräusche“ zum Teil ausgeblendet werden können, der Ultraschall jedoch nicht vollständig erfasst werden kann. Die Akustik technischer Vorgänge bildet sich jedoch in der Regel breitbandig ab.

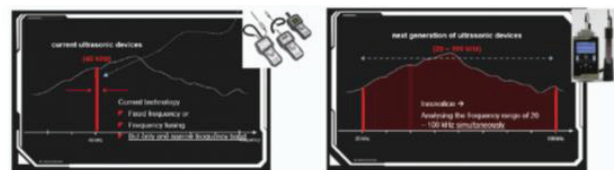


Abbildung 1: Vergleich des Prinzips konventioneller Schmalbandverfahren (Heterodyn-technik) mit der Möglichkeiten der Breitbandsensorik. Ein wichtiges Feature ist die Hörbarmachung der Ultraschallsignale. Für die Breitbandtechnologie wurde ein modifiziertes Verfahren für die Hörbarmachung entwickelt.

Es wurde deshalb ein digitales Prüfkonzept entwickelt [1], bei dem mit entsprechenden Abstraten ein geeignet gewählter Frequenzbereich ausgewählt und bewertet wird [2,3].

Ein wichtige Voraussetzung für die Ausdehnung des Frequenzbereichs sind geeignete Sensoren [4,5]. Schwingungssensoren sind in der Regel nicht in den dafür notwendigen Frequenzbereich nutzbar (zumindest in der Instandhaltung nicht ökonomisch vertretbar). Konventionelle piezoelektrische Sensoren haben im interessierenden Frequenzbereich „störende“ Eigenfrequenzen. Dies verhindert weitgehend einen Einsatz der Sensoren für quantitative Zwecke.

Für Anwendungen in der Instandhaltung wurden deshalb Sensoren auf der Basis piezo-elektrischer Kompositmaterialien entwickelt. Das Herstellungsprinzip und die prinzipielle Auswirkung auf Kennlinien werden in Abbildung 2 verdeutlicht.

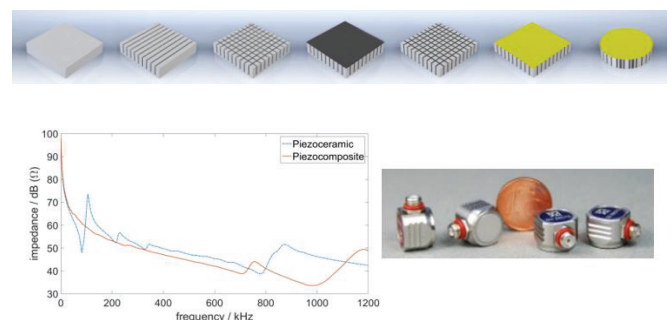


Abbildung 2: Herstellungstechnologie für piezoelektrische Kompositmaterialien (oben), Vergleich der Impedanzkurven eines herkömmlichen Sensors mit der

eines neuen Sensors mit einer Piezo-Komposit-Scheibe, rechts: Ausführungsformen.

Da die Sensoren für die höheren Frequenzen über keine seismische Masse wie Schwingungssensoren verfügen, ist auch die direkte Zuordnung von gemessenen Spannungen zu Vibrationsdaten schwierig. Hinzu kommt, dass Anregungen mit einem Shaker in der Regel nicht für diesen Frequenzbereich ausgelegt sind.

Gleichzeitig gibt es einen sehr konventionell geprägten Anwendungsbereich von „low frequency“ Ultraschall in der Instandhaltung - in der Regel auf der Basis analoger Technologie. Ziel breitbandigen Sensorik ist die Aufwertung der Ultraschalldiagnoseverfahren durch Digitalisierung und Nutzung der spektralen Information. Die Notwendigkeit breitbandiger Körperschallsensorik ergibt sich aus Anforderungen in der Instandhaltung (Maschinendiagnose, Strömungsprobleme). Oft werden die Sensoren mit der Hand für Prüfzwecke gehalten. Dies macht Vergleiche (und Kalibrierungen) besonders herausfordernd.

Der Vergleich von Schwingungssensor und breitbandigem Körperschallsensor zeigt die unterschiedlich nutzbaren Bereiche (Abb. 3). Die Sensorvarianten haben überlappende Bereiche. Dies legt einerseits eine komplementäre Nutzung nahe. Andererseits ergibt sich daraus die Möglichkeit, Schwingungssensorik für vergleichende Messungen (auch unter praktischen Bedingungen) einzusetzen. Auf die Möglichkeiten optischer Verfahren (z.B. Laservibrometrie) kann hier nicht eingegangen werden; sie spielen aber bei der Entwicklung der Kalibrierungsverfahren eine wichtige Rolle.

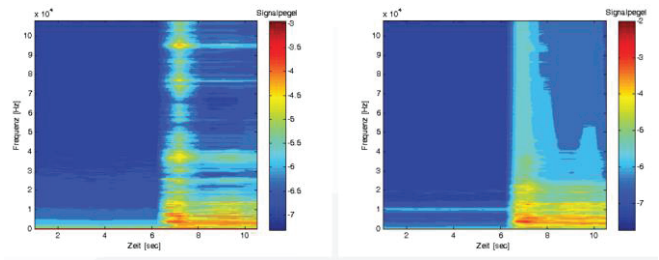


Abbildung 4: Vergleich Vibrationssensor und (Ultraschall)Körperschallsensor, der Schwingungssensor ist nur bis etwa 10 kHz (linear) einsetzbar. Das Beispiel zeigt Vibrationen auf einer Bremsscheibe. Der Körperschallsensor (rechts) kann bereits bei relativ niedrigen Frequenzen eingesetzt werden. Der Sensor in der Abbildung rechts hat eine Resonanzfrequenz von 1 MHz. Der Körperschallsensor wird hier weit unterhalb der Resonanzfrequenz genutzt.

Die Sensoren haben komplementäre Einsatzmöglichkeiten (mit einer gewissen Überlappung). Die Frequenzen oberhalb 20 kHz liefern in der Instandhaltung oft Informationen über sich frühzeitig ankündigenden Verschleiß.



Abbildung 5: Schwingregelsystem: VCS 403 (sinus, Rauschen), Referenzsensor: Laservibrometer, PCB M353B17, Leistungsverstärker: PA14-500, Schwingungserreger: SE-11, SE-16, piezo-Erreger

Die Firma Spektra hat Untersuchungen an Ultraschall-Körperschallsensoren durchgeführt. Ziel ist es, unter Anwendung und Modifizierung geeigneter Kalibrierverfahren, die Prüflinge in einem möglichst großen Frequenzbereich zu kalibrieren. Nach bisherigem Kenntnisstand sind Kalibrierungen bis zu 60 kHz realisierbar. Kern der Verfahren sind gewisse Optimierungen der Referenzen, die verbunden sind mit entsprechenden konstruktiven Anpassungen. Darüber hinaus sind weitere Untersuchungen notwendig. Auf dieser Basis können die Zielparameter für die Modifikation der Kalibrierungsverfahren festgelegt werden.

Zusammenfassung

Es wurden Kalibrierprozeduren entwickelt und Prüfplätze modifiziert, um Körperschallsensoren mit

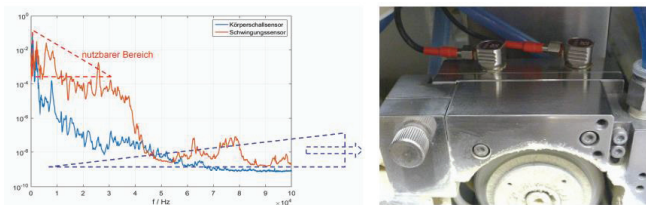


Abbildung 3: Vergleich Schwingungssensor und Körperschallsensor. Deutlich zu sehen ist das Resonanzverhalten des Schwingungssensors, rechts: Applikation von Körperschallsensoren an einer Wafersäge.

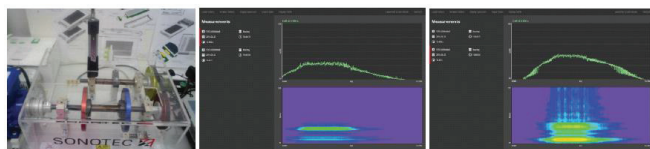


Abbildung 2: Anwendungsbeispiel: Lagerdiagnose (i.O vs. defektes Lager). Im Ult raschallbereich werden typische prädiktiv verwertbare Informationen geliefert (Schmierung, Reibung, Oberflächenschäden u.a.)

Schwingungssensoren vergleichbar zu machen und für Frequenzen > 20 kHz (bis etwa 60 kHz) verlässliche Aussagen zwischen Anregungsverhalten und frequenzabhängiger Antwort zu erhalten. Aussagen zu Messungen hochfrequenter Vibrationen werden damit bewertbar. Die Arbeiten werden fortgeführt.

Danksagung

Teile der Arbeit wurden durch das BMBF (Programm zwanzig20, Project “fast monitoring – Real-Time Ultrasound Monitoring” j03ZZ0518C)) und die Europäische Gemeinschaft Program Horizon 2020 (project “E-saving Ultrasonics”) gefördert.

Literatur

- [1] URL:
<https://www.sonotec.de/produkte/vorbeugende-Instandhaltung/>
- [2] P. Holstein, C. Probst, A. Tharandt, G. Werner, T. Werner, Condition Monitoring with Ultrasound – new Approaches, 3rd International Rotating Equipment Conference (IREC), Pumps, Compressors and Vacuum Technology, Düsseldorf, 14 – 15 September 2016, ISBN- 978-3-8163-0697-9
- [3] C. Probst, P. Holstein, Application of Ultrasound Technology in Condition Monitoring, Condition Monitor, 372(2018) Feature Article
- [4] C. Probst, P. Holstein, D. Surek, A. Tharandt, Acoustic Emission Sensors based on Piezo-Composites for Machinery Engineering Applications, AIA-DAGA 2013, International Conference on Acoustics, Meran; 18.03.2013 - 21.03.2013; in: "AIA-DAGA 2013 Conference on Acoustics", Proceedings, Deutsche Gesellsch. f. Akustik, Berlin, (2013), ISBN: 978-3-939296-05-8
- [5] Holstein, D. Surek, A. Tharandt, S. Gramstat, H.-J. Münch, Maschinendiagnose mit erweitertem Frequenzbereich, Proceedings, 18. Kolloquium Schallemission, Statusberichte zur Entwicklung und Anwendung der Schallemissionsanalyse 27. - 28. Oktober 2011, Wetzlar,