

SAW-basierte Sensortechnologie zur drahtlosen Temperaturmessung in Gasturbinenanwendungen

(1) Problemstellung

Erneuerbare Energien gewinnen in der globalen Energieerzeugung immer mehr an Bedeutung, wodurch die Stabilität der Stromnetze jedoch in erheblichem Maße von volatiler Solar- und Windenergie abhängt. Moderne Gasturbinenkraftwerke können vorübergehende Lastspitzen ausgleichen und die Stromnetze in Zeiten hoher Nachfrage stabilisieren. Doch wirkt sich eine Betriebsweise mit häufigen dynamischen Lastwechseln (z.B. schnelle An- und Abfahrvorgänge) negativ auf die Lebensdauer der Gasturbinenkomponenten aus. Neben der Optimierung des Gesamtwirkungsgrads zur Senkung von Emissionen und des Brennstoffverbrauchs ist daher auch die Fähigkeit zur Lastflexibilität ein zunehmend wichtiger Entwicklungsparameter.

Potenzielle Steigerungen der Lebensdauer und Effizienz hängen in besonderem Maße von der präzisen Kenntnis lokaler Temperaturverteilungen und -gradienten ab. Für die Temperaturüberwachung in Gasturbinen kommen in der Regel herkömmliche Thermoelemente zum Einsatz. Bei rotierenden Komponenten ist die Anwendung von Thermoelementen jedoch aufgrund der komplexen Verdrahtung und der Notwendigkeit von Telemetriesystemen eine Herausforderung. Messfehler, signifikante Ausfallquoten und hohe Kosten können die Folge sein.

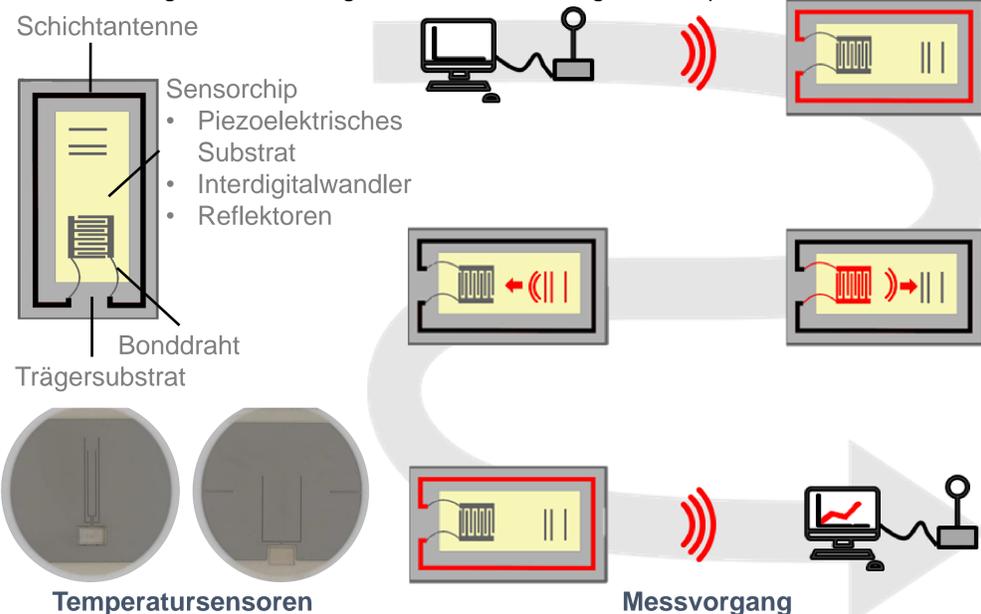
Um die Probleme der Thermoelementanwendung in Gasturbinen künftig zu umgehen, engagierte sich die B&B-AGEMA in einem mehrjährigen, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Forschungsprojekt zur Entwicklung eines innovativen, drahtlosen und hochtemperaturtauglichen Mehrkanal-Temperaturmesssystems.

(2) SAW-basierte Temperaturmessung

Das entwickelte Temperaturmesssystem arbeitet nach dem Prinzip der Ausbreitung akustischer Oberflächenwellen (Surface-Acoustic-Wave; SAW). Neben einem oder mehreren Temperatursensoren, die auf dem Messkörper appliziert werden, umfasst das Messsystem auch eine Readereinheit (radarbasiertes thermisches Auswertesystem mit kombinierter Sender- und Empfängerantenne) zur drahtlosen Kommunikation. Die applizierten Sensoren arbeiten völlig passiv, d.h. ohne externe Stromversorgung.

Messvorgang:

- Aussenden eines hochfrequenten Anregungssignals vom Reader
- Empfangen des Anregungssignals durch die Schichtantenne des Sensors
- Umwandeln des Signals in ein elektrisches Feld auf den Sensorchip (Interdigitalwandler auf piezoelektrischem Substrat)
- Erzeugung und Ausbreitung einer mechanischen Oberflächenwelle
- Zurückwerfen der Oberflächenwelle an applizierten Reflektorstreifen
- Umwandeln der reflektierten Oberflächenwelle in elektrisches Signal (Antwortsignal) am Interdigitalwandler
- Übermittlung des Antwortsignals an den Reader via Schichtantenne
- Auswertung des Antwortsignals und Berechnung der Temperatur

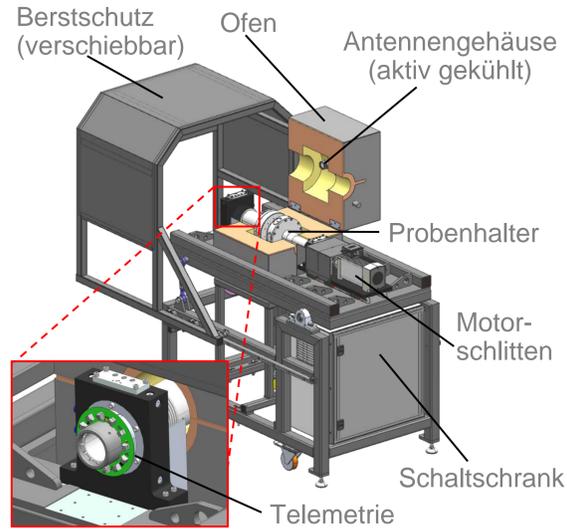


Die Temperaturermittlung erfolgt dabei auf Basis der Frequenzverschiebung des Antwortsignals als Folge der temperaturabhängigen, akustischen Geschwindigkeit und thermischer Dehnungen.

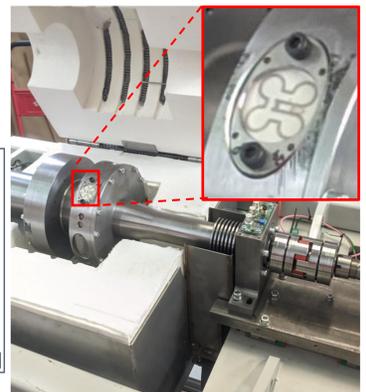
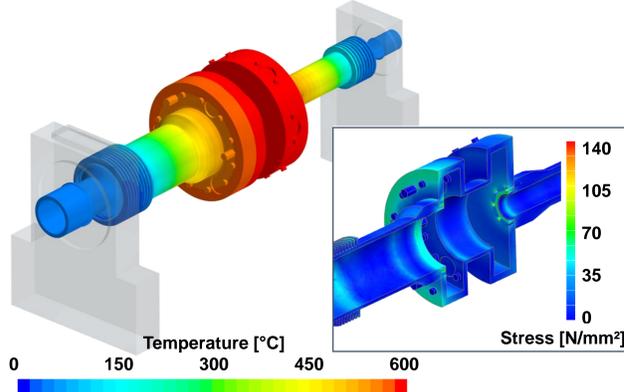
(3) Laborversuchsstand

Im Rahmen des Forschungsprojektes hat die B&B-AGEMA einen Laborversuchsstand zur dynamischen Erprobung des Temperaturmesssystems entwickelt:

- Simulation gasturbinentypischer Betriebsbedingungen (variabel einstellbar bis zu 600°C und 6000 U/min)
- Montage von bis zu 12 Sensoren innen und außen auf dem Probenhalter u.a. zur Erprobung der Sensor-Reader-Kommunikation in (metallischen) Kavitäten.
- Integration eines Vergleichsmesssystems zur Sensorvalidierung (Thermoelemente und induktiv bestromtes Telemetriesystem)



Aufbau des Laborversuchsstandes



(4) Messergebnisse und Ausblick

Gemeinsam mit unseren Projektpartnern vom Leibniz Institut für Festkörper- und Werkstofforschung (IFW Dresden) sowie der Professur für Hochfrequenztechnik der TU Dresden wurde das Temperaturmesssystem bis zur Demonstrator-Ebene entwickelt. Für Versuchsreihen bei niedriger Drehzahl (< 1500 U/min) und moderater Temperaturbeaufschlagung (< 350° C) konnte der grundsätzliche Funktionsnachweis, d.h. die drahtlose Temperaturmessung eines rotierenden Bauteils mittels SAW-Technologie, erbracht werden.

Im Rahmen der technischen Weiterentwicklung des Temperaturmesssystems soll die Einsatzfähigkeit auch für den Hochtemperaturbereich sowie für höhere Drehzahlen sichergestellt werden. Zudem liegt der Fokus auf der Erhöhung der Messgenauigkeit (z.B. Verbesserung der Schichtantenne des Sensors, besseres Zusammenspiel von Sensor und Reader), da sich aktuell noch zeigt, dass mit zunehmender Temperatur das Signal-Noise-Ratio (Abstand des Messsignals zum Hintergrundrauschen) sinkt und damit die Messgenauigkeit spürbar abnimmt.

Messsignal bei veränderlicher Temperatur und konst. Drehzahl

Darstellung: Zeitbereich

