

Temperaturverteilung beheizter keramischer Sensorelemente innerhalb eines Gehäuses – Experimentelle Untersuchungen

Thomas Wöhrl, Julia Herrmann, Gunter Hagen, Jaroslaw Kita, Ralf Moos

*Lehrstuhl für Funktionsmaterialien, Universität Bayreuth, Bayreuth, Deutschland
Kontakt: funktionsmaterialien@uni-bayreuth.de*

Einleitung

Für einen effizienten Betrieb von Abgasnachbehandlungseinrichtungen zur Emissionsminderung bei Verbrennungsprozessen spielen Hochtemperatur-Gassensoren eine wichtige Rolle [1].

Die Detektion des zu erfassenden Abgasbestandteils geschieht meist über eine spezielle Funktionsschicht, die einen Temperaturbereich mit einer optimalen Empfindlichkeit besitzt. Die Einsatztemperatur wird dabei durch die Verwendung von Heizleiterstrukturen erreicht, die in vielen Anwendungsfällen im Dickschicht-Verfahren hergestellt und in das Sensorbauteil integriert werden [2].

Die meist notwendige örtliche Trennung der Funktionsschicht von der Heizleiterstruktur kann zu ungewünschten Temperaturdifferenzen und -inhomogenitäten im Bereich der Funktionsschicht führen. Durch die Verwendung von speziell für den Anwendungsfall entwickelte Schutzkappen wird ebenfalls versucht, die Einflüsse der Umgebung auf das Temperaturprofil des Sensors möglichst gering zu halten.

Der vorliegende Beitrag befasst sich daher mit dem Aufbau und den Messergebnissen zur In-situ-Bestimmung der Temperaturverteilung eines Gassensors innerhalb einer Schutzkappe.

Messprinzipien und Aufbau

Die Grundlage für die Sensoren bildet ein Aluminiumoxid-Substrat, auf dessen Rückseite eine mäanderförmige Heizleiterstruktur aus Platin im Siebdruck-Verfahren aufgebracht wird, die den Sensor während der Messungen auf ca. 600 °C erhitzt [3].

Infolge der hohen Anforderungen an das Messsystem, wie z.B. die Notwendigkeit einer orts- und zeit aufgelösten Messung in unterschiedlichen Einbautagen, stehen im Folgenden zwei Methoden zur Bestimmung des Temperaturprofils auf der Vorderseite des Sensors zur Verfügung.

Die Verwendung einer Wärmebildkamera stellt die erste Variante zur Beurteilung der Temperaturverteilung dar. Für Messungen unter realen Bedingungen wird eine Schutzkappe mit einer Aussparung für ein Infrarot-durchlässiges Fenster benötigt. Das Glas besitzt dazu einen hohen Transmissionsgrad der elektromagnetischen Strahlung im Arbeitsbereich der verwendeten Wärmebildkamera und eine entsprechende Temperaturbeständigkeit [4].

Dadurch ist es möglich, das Temperaturprofil des Sensors auch innerhalb einer Schutzkappe mit einer Infrarotkamera zu ermitteln. Diese Messmethodik eignet sich natürlich nur bei Aufbauten, bei denen eine optische Verbindung zwischen dem Sensor und der Wärmebildkamera möglich ist.

Dementsprechend wird eine weitere Alternative benötigt, bei der auch Temperaturmessungen innerhalb eines abgeschlossenen Raumes durchgeführt werden können. Dazu werden Sensoren mit einem Array aus siebgedruckten Thermoelementen auf der Vorderseite hergestellt [5]. Eine Herausforderung stellt dabei die geringe Sensorbreite dar, die die maximale Anzahl an Messpunkten pro Sensor begrenzt. Aus diesem Grund entstanden mehrere Sensoren mit unterschiedlichen Thermoelement-Anordnungen, die einen möglichst großen Bereich der Funktionsschicht abdecken.

Aufgrund der hohen Empfindlichkeit und der notwendigen Kontaktierung mit Ausgleichleitungen setzen sich die Thermoelemente aus einer Kombination von Gold- und Platin-Leiterbahnen zusammen [6]. Ein Sensor mit einer entsprechenden Thermoelementanordnung innerhalb der Schutzkappe mit dem vorher erwähnten Infrarot-durchlässigen Fenster ist exemplarisch in Abb.1 a) dargestellt.

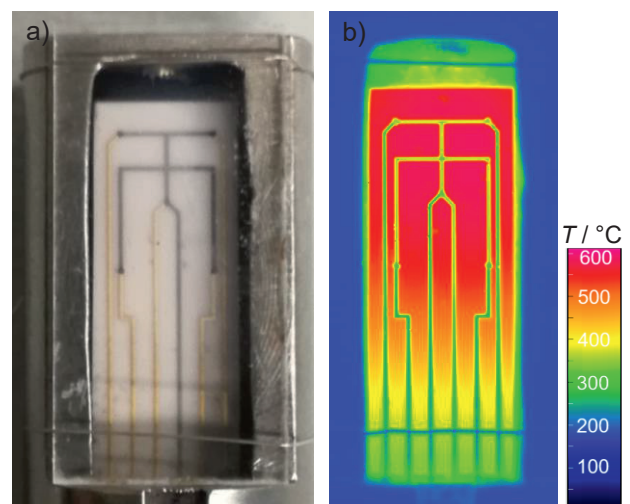


Abb. 1: a) Im Siebdruckverfahren hergestellter keramischer Sensor mit einer Thermoelementstruktur innerhalb einer Schutzkappe mit einem Infrarot-durchlässigen Fenster. b) Wärmebildaufnahme bei einer Sensortemperatur von ca. 600 °C

Messergebnisse und Diskussion

Beim direkten Vergleich der Messungen mit der Wärmebildkamera und den Thermoelementsensoren ohne Verwendung einer Schutzkappe kann eine gute Übereinstimmung der beiden Messsysteme festgestellt werden. Für die Messungen mit der Infrarotkamera wurde anstelle des Sensors aus Abb. 1a) ein vorderseitig unbedrucktes Substrat verwendet, um die Einflüsse des unbekanntem Emissionsgrades der Zuleitungen zu umgehen.

Im nächsten Schritt wird die Schutzkappe mit der Aussparung für das Infrarot-durchlässige Fenster verwendet und der Transmissionsgrad in den Einstellungen der Infrarotkamera entsprechend angepasst. Ein Beispiel einer Wärmebildaufnahme unter Verwendung der Schutzkappe ist in Abb. 1b) zu sehen. Auch bei diesen Messungen liefern beide Methoden eine gute Vergleichbarkeit. Die durchschnittliche Abweichung der beiden Messmethoden liegt unterhalb von 5 °C.

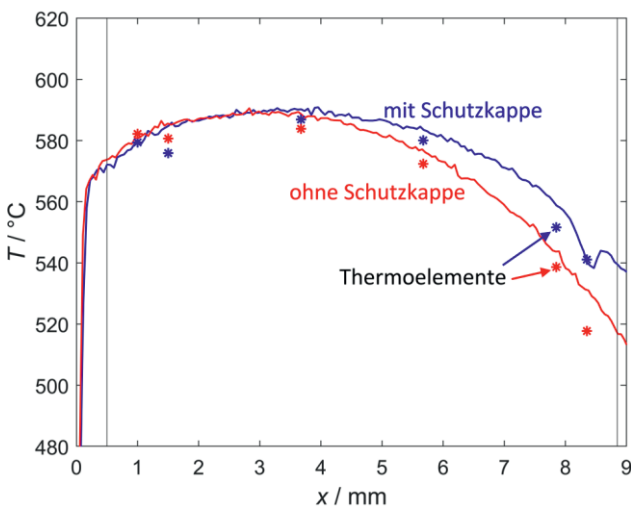


Abb. 2: Vergleich der Temperaturverläufe entlang des Sensors mit und ohne Verwendung einer Schutzkappe, jeweils gemessen mit einer Infrarotkamera und den siebgedruckten Thermoelementen

Durch die Verwendung der Schutzkappe kann eine erhebliche Temperaturerhöhung in Richtung der Einspannung des Sensors im Vergleich zu den Messungen ohne Schutzkappe festgestellt werden (siehe Abb. 2). Für den Bereich der Funktionsschicht liegt der maximale Temperaturunterschied der beiden Messungen bei ca. 20 °C. Die Schutzkappe sorgt folglich für eine Veränderung der Wärmeübertragungsmechanismen, was in diesem Fall zu einem homogeneren Temperaturprofil entlang des Sensors führt [7].

Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass auch die Orientierung und Anströmung des Sensors im Gehäuse eine Veränderung der Temperaturhomogenität im Bereich der beheizten Zone zur Folge hat.

Ausblick

Nach erfolgreicher Evaluation der beiden Messmethoden bieten sich weitere Anwendungsgebiete, zur näheren Untersuchung an, um die Einflüsse auf das Signal keramischer Hochtemperatursensoren, z.B. durch veränderliche Umgebungs- und Gehäusetemperaturen, beurteilen zu können.

Dementsprechend eignet sich die vorgestellte Messmethodik auch zur Entwicklung von optimierten Layouts für Heizleiterstrukturen, die ein homogenes Temperaturprofil erzielen sollen.

Weiterhin können die gewonnenen Erkenntnisse dazu dienen, neuartige Schutzkappen zu entwerfen, die die Strömungsverhältnisse im Inneren verbessern und der Sensor dadurch ein umgebungsunabhängigeres Signal liefert.

Literatur

- [1] RICHTER D.; FRITZE H.: *High Temperature Gas Sensors*. In: KOHL, C.D.; WAGNER, T. (Hrsg.): *Gas Sensing Fundamentals*, Springer-Verlag, 2014, S.1-3, doi: 10.1007/978-3-642-54519-1
- [2] HAGEN G.; HARSCH A.; MOOS R.: *A pathway to eliminate the gas flow dependency of a hydrocarbon sensor for automotive exhaust applications*, In: *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7 (2018), S.79-84, doi: 10.5194/jsss-7-79-2018
- [3] WIEGÄRNTER S.; HAGEN G.; KITA.; REITMEIER W.; HIEN M.; GRASS P.; MOOS R.: *Thermoelectric hydrocarbon sensor in thick-film technology for on-board diagnostics of a diesel oxidation catalyst*, In: *Sensors and Actuators B: Chemical*, 214 (2015), S. 234-240, doi: 10.1016/j.snb.2015.02.083
- [4] GÜNZLER H.; GREMLICH H.U.: *IR-Spektroskopie*, Wiley-VCH Verlag, 2003, S.92-94, doi: 10.1002/9783527662852
- [5] KITA J.; WIEGÄRTNER S.; MOOS R.; WEIGAND P.; PLISSCOTT A.; LABRANCHE M.H.; GLICKSMAN H.D.: *Screen-printable type S thermocouple for thick-film technology*, In: *Procedia Engineering*, 120 (2015), S.828-831, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.692
- [6] BERNHARD F.: *Handbuch der Technischen Temperaturmessung*, Springer-Verlag, 2014. S. 896 – 1040, doi: 10.1007/978-3-642-24506-0
- [7] MAREK R.; NITSCHKE K.: *Praxis der Wärmeübertragung*, Hanser-Verlag, 2019. S.19-22, ISBN: 978-3-446-44499-7