

# Simulationsgestützte Entwicklung individueller Gassensor-Schutzkappen

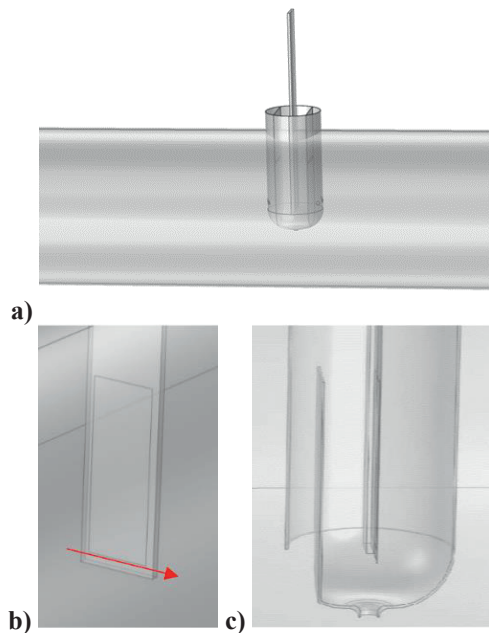
Julia Herrmann, Thomas Kern, Thomas Wöhrl, Ralf Moos, Gunter Hagen

Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Funktionsmaterialien,  
Zentrum für Energietechnik (ZET), Bayreuth / Deutschland

Kontakt: [gunter.hagen@uni-bayreuth.de](mailto:gunter.hagen@uni-bayreuth.de)

## Einleitung

Hochtemperatur-Gassensoren sind notwendig für die In-situ-Überwachung und -Regelung von Verbrennungsprozessen oder nachgeschalteter Abgasnachbehandlungskonzepte zur Erfüllung gesetzlicher Vorgaben. Die Genauigkeit der sensorischen Messung hängt nicht nur von der Empfindlichkeit und der Selektivität des verwendeten Sensorprinzips ab, sondern auch von der Peripherie des Sensorelements. Hier spielen die konstante und homogene Beheizung der Sensorfunktionsschicht, Einbauposition und Einbaulage, schnelles Ansprechen, Unempfindlichkeit gegen äußere Störungen oder dynamische Anströmung eine Rolle [1]. Daher sind häufig anwendungsspezifisch angepasste Schutzkappen nötig.

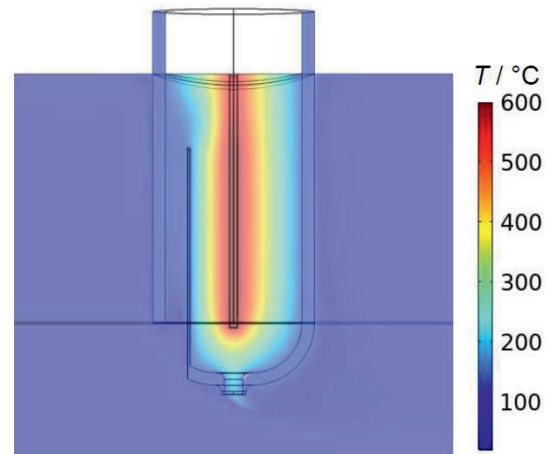


**Abb. 1:** a) Simulationsmodell eines hängend eingebauten Sensorelements mit Kappe, Sensoroberfläche zeigt in Richtung der Anströmung (im Bild von links kommend) in einem Rohr (Querschnitt 40 mm); b) Vorderseite des Sensorelements mit Linie zur Auswertung der Temperaturhomogenität über dessen waagerechten Querschnitt; c) simulierte Schutzkappe mit Gaseintrittsöffnung auf der Anströmungsseite, Gasumlenkung und Gasaustrittsöffnung mit Nase unten

## Simulationen

Als Basis für die Entwicklung dient beispielhaft ein Sensorelement, bestehend aus einem rückseitig beheizten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrat (50,8 mm x 6,35 mm, Dicke 635  $\mu\text{m}$ ), auf dessen Vorderseite im Bereich der Sensorfunktionsschicht eine Temperatur von  $T_{\text{soll}} = 600\text{ }^\circ\text{C}$  möglichst konstant gehalten werden soll. Ein Sensor dieser Art kann in hängender (Abb. 1) oder waagerechter Einbaulage betrieben werden.

Weitreichende FE-Simulationen (ComsolMultiphysics) ein- und zweistufiger Schutzkappenkonzepte hatten zum Ziel, den Gaseintritt, das Strömungsverhalten in der Kappe und den Gasaustritt in einer Weise zu optimieren, dass der beste Kompromiss zwischen möglichst gleichmäßiger Temperaturverteilung auf der Sensoroberfläche und hoher Durchströmungsrate der Kappe (schnelles Ansprechverhalten) erreicht wird. Die besten Ergebnisse zeigte eine zweistufige Kappe, bei der das Gas mittels einer Umlenkung definiert am Sensor entlanggeführt wird (Abb. 2).

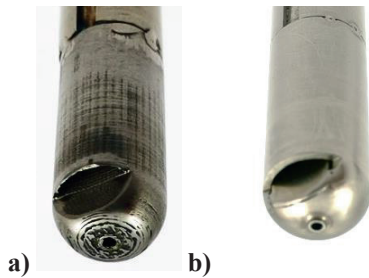


**Abb. 2:** Simulierte Wärmeverteilung für Anströmung (von links) des Sensorelements innerhalb einer zweistufigen Kappe mit Gasumlenkung (hängender Einbau)

## Validierung und Messergebnisse

Die Validierung in Labormessungen erfolgte nach Herstellung der Sensorschutzkappen und anschließender Messung in Synthesegasanlagen.

Prototypen der simulationsgestützt entwickelten Schutzkappen wurden sowohl mit konventionellen Fertigungsmethoden aus Vollmaterial als auch additiv (Metall-Filament-3D-Druck) hergestellt.



**Abb. 2:** Prototypen der hergestellten Sensorschutzkappen: a) mittels additiver Fertigung hergestellt (äußere Oberfläche nachbearbeitet) und b) konventionell gefertigt

Messungen beinhalteten die Verwendung verschiedener Sensorstrukturen zur Ermittlung

- 1) der Temperaturhomogenität (hierbei befinden sich gedruckte Thermoelementstrukturen auf der Vorderseite des Sensorelements, die eine Temperaturmessung an fünf Punkten im Bereich der Sensorfunktionsschicht erlauben [2]) und
- 2) der Sensorantwort bezüglich reduzierender Gase (mittels einer Struktur zur Messung der Exothermie umgesetzter Gase mittels einer thermoelektrischen Vergleichsmessung zwischen katalytisch aktivem und inertem Bereich des Sensorelements, Sensormechanismus nach [3]).

Die gewünschte Temperaturhomogenität auf der Sensoroberfläche konnte bestätigt werden. Messungen zeigen geringe Abweichungen zwischen der Mitte und dem Rand des Messbereichs sogar dann, wenn der Sensor (inkl. Kappe) mit einer Gasströmung von 50 l/min in einem Messrohr von ca. 40 mm Durchmesser angeströmt wird. Die gemessenen Daten stimmen sehr gut mit Simulationen überein. Die Temperaturkonstanz in der Mitte des Messbereichs bleibt auch bei Verdrehung des Sensors mit Kappe um +/- 30° bestehen.

Gasmessungen hinsichtlich zudosierter Kohlenwasserstoffe zeigen ein schnelles und reproduzierbares Ansprechen, obwohl die Empfindlichkeit gegenüber Messungen ohne Kappe etwas reduziert ist. Allerdings wird durch die Verwendung der Schutzkappen auch das Signalrauschen auf ein Minimum reduziert und bleibt unabhängig vom Massenstrom der Testgase.

## Ausblick

Die erfolgreiche simulationsgestützte Entwicklung individueller Gassensorschutzkappen und die Möglichkeit der additiven Fertigung erlaubt zukünftig die Bereitstellung einer anwendungsangepassten Sensorperipherie.

## Literatur

- [1] HAGEN, G.; HARSCH, A.; MOOS, R.: A pathway to eliminate the gas flow dependency of a hydrocarbon sensor for automotive exhaust applications, *J. Sens. Sens. Syst.*, 7 (2018), S. 79–84, doi: 10.5194/jsss-7-79-2018
- [2] HERRMANN, J.; WÖHRL, T.; WERNER, R.; HAGEN, G.; KITA, J.; MOOS, R.: Experimental Verification of the Temperature Homogeneity of Heated Gas Sensor Transducers Inside a Protection Cap, *The 18th International Meeting on Chemical Sensors, IMCS2021, online conference, May 30 - June 6 2021*, ECS Meeting Abstracts, MA2021-01, 1580 (2021), doi: 10.1149/MA2021-01581580mtgabs
- [3] WIEGÄRTNER, S.; HAGEN, G.; KITA, J.; REITMEIER, W.; HIEN, M.; GRASS, P.; MOOS, R.: Thermoelectric hydrocarbon sensor in thick-film technology for on-board-diagnostics of a diesel oxidation catalyst, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 214 (2015), S. 234–240, doi: 10.1016/j.snb.2015.02.083

## Danksagung

Herzlicher Dank gilt Hr. Tobias Rosnitschek M.Sc. vom Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD (Universität Bayreuth) für die additive Fertigung der Prototypen.