

μ-GAS

Innovative CO₂-Sensorik in der Fahrzeugtechnik

Projektleiter

Prof. Dr.
Gerhard Wiegleb

Zeitraum

2005 – 2008

Wiss. Mitarbeiter

C. Stein
V. Huelsekopf

Förderung

Bundesministerium für
Bildung und Forschung:
FHprofUnd
Deutsche Forschungsge-
meinschaft
Fachhochschule
Dortmund
Forschungsbudget

Kontakt

Prof. Dr.
Gerhard Wiegleb
Institut für Mikro-
sensorik und
Fahrzeugelektronik
Fachbereich
Informations- und
Elektrotechnik
Fachhochschule
Dortmund
Sonnenstraße 96
44139 Dortmund
Tel.: (0231) 9112-275
E-Mail: wiegleb
@fh-dortmund.de

Einleitung

Durch die zukünftige Anwendung von Kohlendioxid (CO₂) als Kältemittel in Klimaanlage wurde die Diskussion über den Einsatz von CO₂-Sensoren in der Fahrzeugtechnik neu belebt. Insbesondere vor dem Hintergrund einer plötzlich auftretenden Gasleckage im Kühlkreislauf, können sich schlagartig sehr hohe CO₂-Konzentrationen im Fahrgastinnenraum ausbreiten, die im schlimmsten Fall zur Bewusstlosigkeit des Fahrers führen.

Unabhängig von diesem Szenario sind aber auch natürliche CO₂-Qellen im Fahrgastinnenraum zu berücksichtigen. Die Fahrgäste atmen im Regelfall CO₂ mit einer Konzentration von bis zu 5 Vol.-% aus, das sich im Fahrgastinnenraum anreichern kann. Je nach Personenzahl und Lüftungsverhalten können somit CO₂ Konzentrationen im unteren Vol.-% Bereich entstehen, die eine zusätzliche Gefahr für die Fahrgäste bedeuten.

Die physiologische Wirkung des Kohlendioxids setzt bereits bei wenigen 1000 ppm ein. Max von Pettenkofer hatte Mitte des 19. Jahrhunderts eine Wohlfühlgrenze von 1000 ppm CO₂ in der Raumluft ermittelt, die heute auch als Pettenkofer-Zahl in der Klima- und Lüftungstechnik genutzt wird. Oberhalb von 1 Vol.-% CO₂ treten bereits die ersten merklichen Einflüsse auf, die den menschlichen Organismus beeinflussen. Müdigkeit und Konzentrationsschwäche sind die ersten Anzeichen einer zu hohen CO₂-Konzentration.

Durch eine sensorbasierte Steuerung der zugeführten Frischluft lässt sich die Kohlendioxidkonzentration auf einen Wert unterhalb der Pettenkofer-Zahl regeln. Durch diese Maßnahme kann die Nutzung einer Klimaanlage optimal geregelt werden, so dass die Energiekosten gesenkt werden können [4].

Im Rahmen eines BMBF-Forschungsprojektes (μ-GAS) wurde an der Fachhochschule Dortmund im Institut für Mikrosensorik (IfM) ein CO₂-Sensor für die Fahrzeugtechnik entwickelt, mit dem entsprechende Fahrversuche durchgeführt wurden.

Sensoraufbau

Kohlendioxid lässt sich im infraroten Spektralbereich zwischen 2 μm und 20 μm messtechnisch erfassen. Die beste Möglichkeit bietet sich bei 4,3 μm, da diese Absorptionsbande vergleichsweise stark ausgeprägt ist und keine Querempfindlichkeiten durch Wasserdampf vorhanden sind. Das gesamte Absorptionsspektrum ist in Abbildung 1 dargestellt.

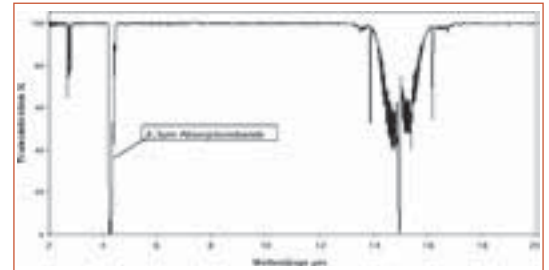


Abb. 1: Absorptionsspektrum von Kohlendioxid (100% x 100 mm)

Der prinzipielle Sensoraufbau ist in Abbildung 2 zu sehen. Als Strahlungsquelle wird eine Wolframwendel eingesetzt, die durch eine Wechselspannung angesteuert wird. Die IR-Strahlung wird dann über einem Spiegel auf einen Detektor fokussiert. Für langzeitstabile Messungen bietet sich eine Vergleichsmessung (R) außerhalb der bevorzugten Absorptionsbande an. Aus beiden Messungen (M, R) erhält man dann das Rohmesssignal (Modulation) das für eine weitergehende Signalverarbeitung zur Verfügung steht.

$$\text{Modulation} = \frac{R - M}{R}$$

Steigt die Gaskonzentration in der Messzelle zwischen der Strahlungsquelle und dem Detektor an, so ändert sich das Messsignal M und die Modulation steigt an. Die Modulation ist daher proportional zu der Gaskonzentration. Die Absorption der Infrarotstrahlung lässt sich nach dem Lambert-Beerschen-Gesetz wie folgt berechnen:

$$M(c) = M_0 e^{-\alpha c L \frac{p_1 T_0}{p_0 T_1}}$$

mit

α = Absorptionskoeffizient, c = Gaskonzentration, L = Absorptionsstrecke, p_0 = Normaldruck, p_1 = aktueller Luftdruck, T_0 = Normaltemperatur, T_1 = aktuelle Temperatur

In Abbildung 3 ist der realisierte Sensoraufbau mit integrierter Auswerteelektronik zu erkennen. Der gesamte Sensoraufbau wurde in Kunststofftechnik aufgebaut. Eine Metallisierung sorgt für eine hohe interne Reflexion der IR-Strahlung, so dass die Strahlung sehr effizient auf den Detektor geleitet wird. Durch diese Maßnahme erhält man ein optimales Signal/Rauschverhältnis, so dass kleinste Änderungen (20-30ppm) der Kohlendioxidkonzentrationen nachgewiesen werden können.

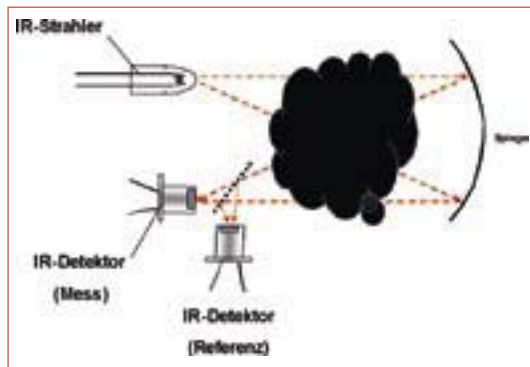


Abb. 2: Prinzipieller Sensoraufbau

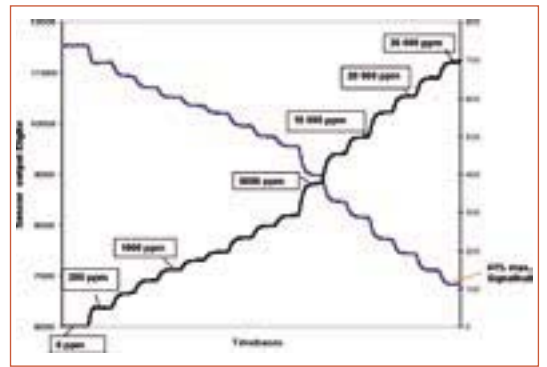


Abb. 4: Ausgangssignal des Gassensors für Konzentrationen zwischen 0 und 30 000 ppm CO₂

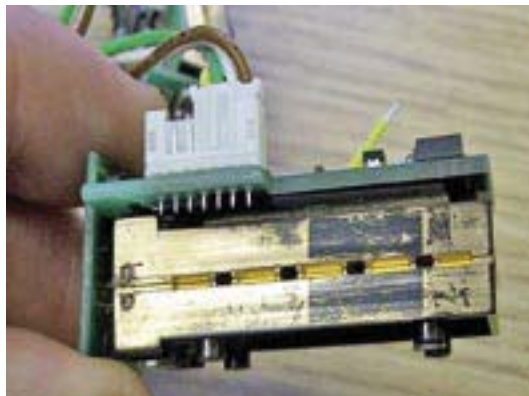


Abb. 3: Sensor mit Auswertelektronik

Die Auswertelektronik befindet sich unterhalb des Sensoraufbaues, so dass die Sensorsignale direkt in die Elektronik eingekoppelt werden können. Die Signale werden zunächst analog verstärkt, um dann in einem Mikrokontroller (Atmega 8 von Atmel) weiter verarbeitet zu werden. Die Auswertelektronik führt dann die erforderlichen Berechnungen durch, um ein konzentrationsproportionales Ausgangssignal zu erhalten. Weiterhin werden die Signale durch einen integrierten Temperatursensor in der Elektronik kompensiert, so dass dann ein stabiles Ausgangssignal von -40°C bis 85°C zur Verfügung steht.

Ergebnisse

Der Sensor wurde für einen Konzentrationsbereich von 10 Vol.-% CO₂ konzipiert. Aufgrund des Lambert-Beerschen Gesetzes nimmt die Empfindlichkeit mit steigender Gaskonzentration ab, so dass die Auflösung ebenfalls abnimmt. In Abbildung 4 ist das Messsignal (M) als fallende Kurve und die Modulation als steigende Kurve für unterschiedliche Gaskonzentrationen dargestellt. Für 30 000 ppm CO₂ erhält man bereits eine Signaländerung von über 40 %.



Abb 5: Anströmung des CO₂ Sensors



Abb. 6: Fahrversuche mit unterschiedlichen Sensorplatzierungen im Innenraum

Die Fahrversuche wurden mit einem Mercedes der E-Klasse durchgeführt. Insgesamt befanden sich bis zu 12 CO₂-Gassensoren an unterschiedlichen Positionen im Fahrzeuginnenbereich. Es zeigte sich, dass bereits nach wenigen Minuten in einem voll besetzten Fahrzeug der Pettenkofer-Wert überschritten wird und dass man nach 10 Minuten die 1 Vol.-% Grenze erreicht.

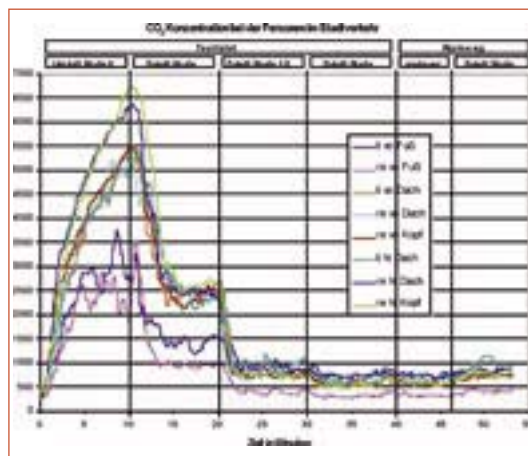


Abb. 7: Ergebnisse der Testfahrt mit unterschiedlichen Sensorpositionierungen

Wichtig für den Einsatz im Fahrzeug ist vor allem die Platzierung des Sensors. Als optimal für die Komfortsteuerung kristallisierte sich der Dachbereich in der Mitte des Fahrzeuges zwischen Fahrer und Beifahrer heraus. Zur schnellen Überwachung im Leckagefall sollte hingegen direkt im Einlassbereich gemessen werden, um möglichst zeitnah zu detektieren. Für eine umfassende Kontrolle und Steuerung der Lüftung in Fahrzeugen sollten daher zwei unabhängig voneinander arbeitende Sensoren zum Einsatz kommen, die für die Sicherheitstechnik (Gasleckage) und Komfortsteuerung (Pettenkofer-Zahl) genutzt werden.

Zusammenfassung

Es wurde ein neuartiger, miniaturisierter Infrarotgassensor realisiert, mit dem bereits kleinste Kohlendioxidkonzentrationen (20 ppm) im Fahrzeug erfasst werden können. Anhand von Fahrversuchen konnte die Praxistauglichkeit des Sensors nachgewiesen werden. Der Temperatureinsatzbereich von -40°C bis 85°C, wurde durch eine interne Kompensation der Sensorsignale realisiert.

Literatur

- [1] Huelsekopf, V., Stein, C., Wiegleb, G.: CO₂-Konzentrationen – Sensorsystem zur Überwachung des Fahrzeug-Innenraums. ATZ 7-8/2004 Jahrgang 106, S.688-692
- [2] Köhne, S.: Vergleichende Untersuchungen miniaturisierter IR-Gassensoren zur Messung von CO₂ in der Fahrzeugtechnik. Diplomarbeit FH-Dortmund 2007
- [3] Wiegleb, G.: Vorrichtung zur Steuerung der Frischluftzufuhr in Fahrzeugen Deutsches Patent 102 00 953.8
- [4] Climate Control Sensor, Komponenten Automotive 5-6.2006, Seite 19-21