

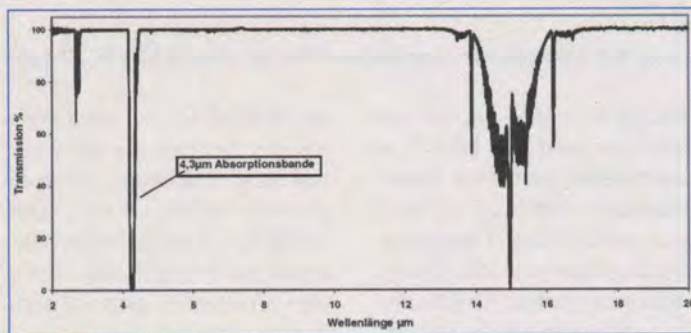
Gassensorik in der Fahrzeugtechnik

# CO<sub>2</sub>-Alarm!

**Zuviel Kohlendioxid im Fahrzeuginnenraum kann die Gesundheit von Fahrer und Beifahrern beeinträchtigen. Versuche mit einem neuartigen CO<sub>2</sub>-Sensor zeigen, dass erste Grenzwerte in einem vollbesetzten Fahrzeug schon nach wenigen Minuten überschritten werden.**

Durch die geplante Anwendung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als Kältemittel in Klimaanlage wurde die Diskussion über den Einsatz von CO<sub>2</sub>-Sensoren in der Fahrzeugtechnik neu belebt. Insbesondere bei einer plötzlich auftretenden Gasleckage im Kühlkreislauf können sich schlagartig sehr hohe Gaskonzentrationen im Fahrgastinnenraum ausbreiten, die im schlimmsten Fall zur Bewusstlosigkeit des Fahrers führen. Unabhängig von diesem Szenario sind aber auch natürliche CO<sub>2</sub>-Quellen im Fahrgastinnenraum zu berücksichtigen. Im Regelfall atmen die Fahrgäste Kohlendioxid mit einer Konzentration von bis zu 5 Volumenprozent (Vol.-%) aus, das sich im Fahrgastinnenraum anreichern kann. Je nach Personenzahl und Lüftungsverhalten können somit Gaskonzentrationen im

unteren Volumenprozentbereich entstehen, die eine zusätzliche Gefahr für die Fahrgäste bedeuten.



**Bild 1: Absorptionsspektrum von Kohlendioxid (100% x 100 mm)**

Die physiologische Wirkung des Kohlendioxids setzt bereits bei wenigen tausend ppm ein. Max von Pettenkofer hatte Mitte des 19. Jahrhunderts eine Wohlfühlgrenze von 1000 ppm CO<sub>2</sub> in der Raumluft ermittelt, die heute auch als Pettenkofer-Zahl in der Klima- und Lüftungstechnik genutzt wird. Oberhalb von 1 Vol.-% treten bereits die ersten merklichen Einflüsse auf, die den menschlichen Organismus beeinflussen. Müdigkeit und Konzentrationsschwäche sind die ersten Anzeichen für eine zu hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration. Eine sensorbasierte Steuerung der zugeführten Frischluft kann die Konzentration von Kohlendioxid auf einen Wert unterhalb der Petten-

kofer-Zahl regeln. Hierdurch lassen sich eine Klimaanlage optimal nutzen und damit die Energiekosten senken [4]. Im Rahmen eines BMBF-Forschungsprojektes (»µ-GAS«) entwickelte das Institut für Mikrosensorik (IfM) an der Fachhochschule Dortmund einen CO<sub>2</sub>-Sensor für die Fahrzeugtechnik und führte entsprechende Fahrversuche durch.

## Starke Absorption bei 4,3 µm

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 Absorpti-

on in Bild 2 zu sehen. Als Strahlungsquelle kommt eine mit Wechselspannung angesteuerte Wolframwendel zum Einsatz. Ein Spiegel fokussiert die Infrarotstrahlung dann auf einen Detektor. Für langzeitstabile Messungen bietet sich eine Vergleichsmessung (R) außerhalb der bevorzugten Absorptionsbande an. Aus beiden Messungen (M, R) erhält man dann nach Gleichung 1 das Rohmesssignal (Modulation) das für eine weitergehende Signalverarbeitung zur Verfügung steht. Steigt die Gaskonzentration in der Messzelle zwischen der Strahlungsquelle und dem Detektor an, so ändert sich das Messsignal M, und die Modulation steigt an. Damit ist die Modulation proportional zur Gaskonzentration. Die Absorption der Infrarotstrahlung lässt sich nach dem Lambert-Beerschen-Gesetz gemäß Gleichung 2 berechnen. Darin sind  $\alpha$  der Absorptionskoeffizient,  $c$  die Gaskonzentration,  $L$  die Absorptionsstrecke,  $p_0$  der Normaldruck,  $p_1$  der aktuelle Luftdruck,  $T_0$  die Normaltemperatur und  $T_1$  die aktuelle Temperatur.

In Bild 3 ist der realisierte Sensoraufbau mit integrierter Auswerteelektronik zu erkennen. Der gesamte Sensoraufbau erfolgte in Kunststofftechnik. Eine Metallisierung sorgt für eine starke interne

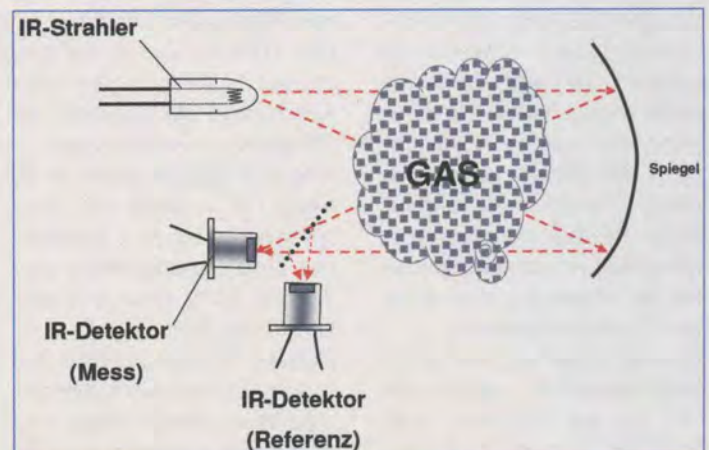
onsbande vergleichsweise stark ausgeprägt ist und keine Querempfindlichkeiten durch Wasserdampf vorhanden sind. Bild 1 zeigt das gesamte Absorptionsspektrum, der prinzipielle Sensoraufbau ist

**Gleichung 1**

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

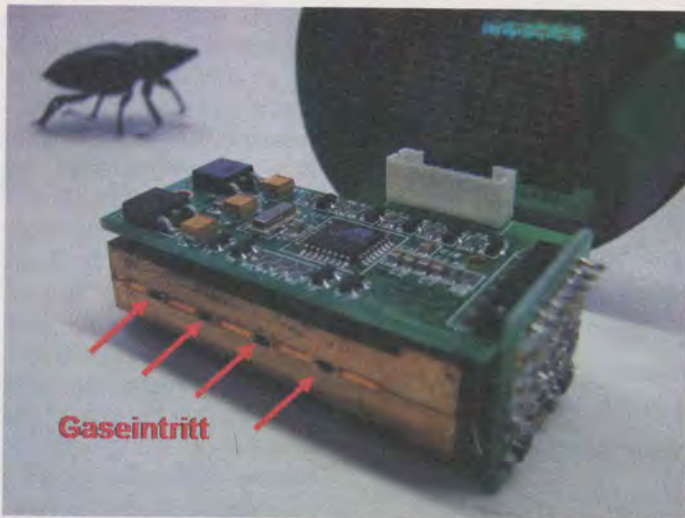
**Gleichung 2**

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



**Bild 2: Prinzipieller Sensoraufbau**





**Bild 3: CO<sub>2</sub>-Sensoraufbau mit Anströmung**

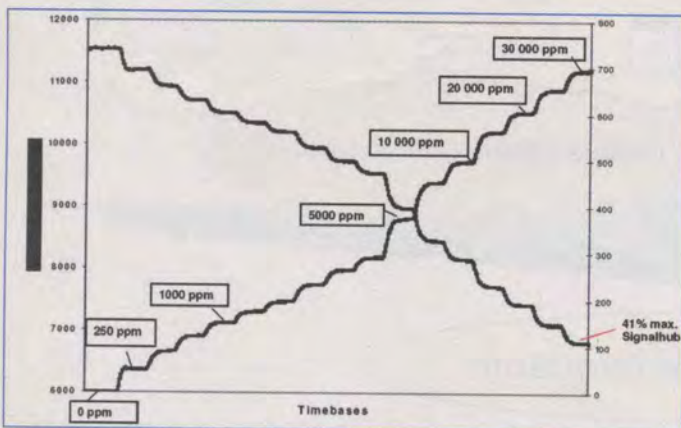
Reflexion der IR-Strahlung, sodass die Strahlung sehr effizient auf den Detektor geleitet wird. Durch diese Maßnahme erhält man ein sehr gutes Signal/Rauschverhältnis, mit dem sich selbst kleinste Änderungen (20 ppm bis 30 ppm) der Kohlendioxidkonzentrationen nachweisen lassen.

Weil sich die Auswerteelektronik unterhalb des Sensoraufbaus befindet, lassen sich die Sensorsignale direkt in die Elektronik koppeln. Die Signale werden zunächst analog verstärkt und dann in einem Mikrocontroller (»Atmega 8« von Atmel) weiterverarbeitet. Anschließend führt die Auswertelektronik die erforderlichen Berechnungen durch, um ein konzentrationsproportionales Ausgangssignal zu erhalten.

Ein in der Elektronik integrierter Temperatursensor kompensiert die Signale so, dass ein stabiles Ausgangssignal von -40 °C bis +85 °C zur Verfügung steht.

### Zuviel CO<sub>2</sub> nach wenigen Minuten

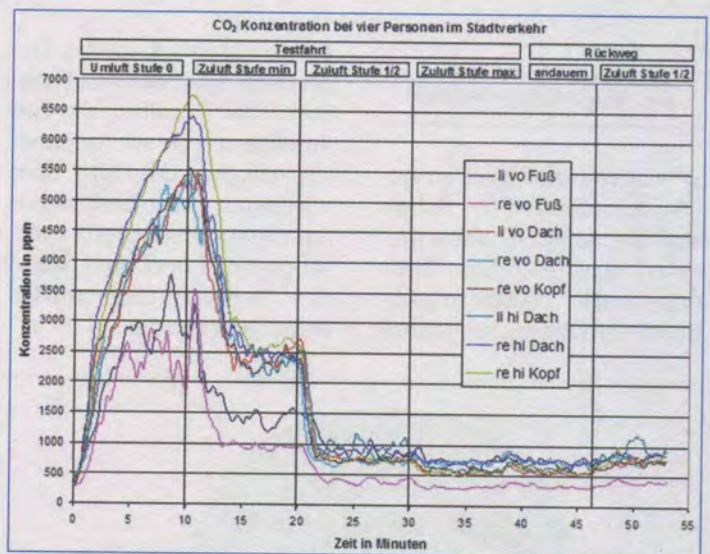
Der Sensor wurde für einen Konzentrationsbereich von 10 Vol.-% CO<sub>2</sub> konzipiert. Aufgrund des Lambert-Beerschen Gesetzes nimmt die Empfindlichkeit und damit die Auflösung mit steigender Gaskonzentration ab. In Bild 4 ist das Messsignal (M) als fallende Kurve und die Modulation als steigende Kurve für unterschiedliche Gaskonzentrationen dargestellt. 30 000 ppm CO<sub>2</sub> ergeben bereits eine Signaländerung von über 40 %.



**Bild 4: Ausgangssignal des Gassensors für Konzentrationen zwischen 0 ppm und 30000 ppm CO<sub>2</sub>**

Mit diesem »μ-GAS«-CO<sub>2</sub>-Sensor wurden Untersuchungen in einem Mercedes der E-Klasse durchgeführt. Insgesamt befanden sich bis zu zwölf Gassensoren an unterschiedlichen Positionen im Fahrzeuginnenbereich. Es zeigte sich, dass in einem voll besetzten Fahrzeug der Pettenkofer-Wert bereits nach wenigen Minuten überschritten wird. Nach zehn Minuten ist bereits die 1-Vol.-%-Grenze erreicht. Wichtig für den Einsatz im Fahrzeug ist

den, um möglichst zeitnah reagieren zu können. 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. Das beschriebene Projekt wurde im Rahmen des Programms »FHprofUnd« mit Mitteln des BMBF und der DFG (Deutsche For-



**Bild 5: Ergebnisse der Testfahrt mit unterschiedlichen Sensorpositionierungen**

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 (Bild 5). Zur schnellen Überwachung im Leckagefall sollte hingegen direkt im Einlassbereich gemessen wer-

schungsgemeinschaft) unterstützt. (cg)

**Sebastian Köhne**  
 schrieb seine Diplomarbeit bei  
**Prof. Dr. Gerhard Wiegleb**  
 am Institut für Mikrosensorik und  
 Fahrzeugelektronik der  
**Fachhochschule Dortmund**  
 Telefon 02 31/91 12 27 5  
 www.fh-dortmund.de

### Literatur

- [1] Huelsekopf, V., Stein, C., Wiegleb, G.: CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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