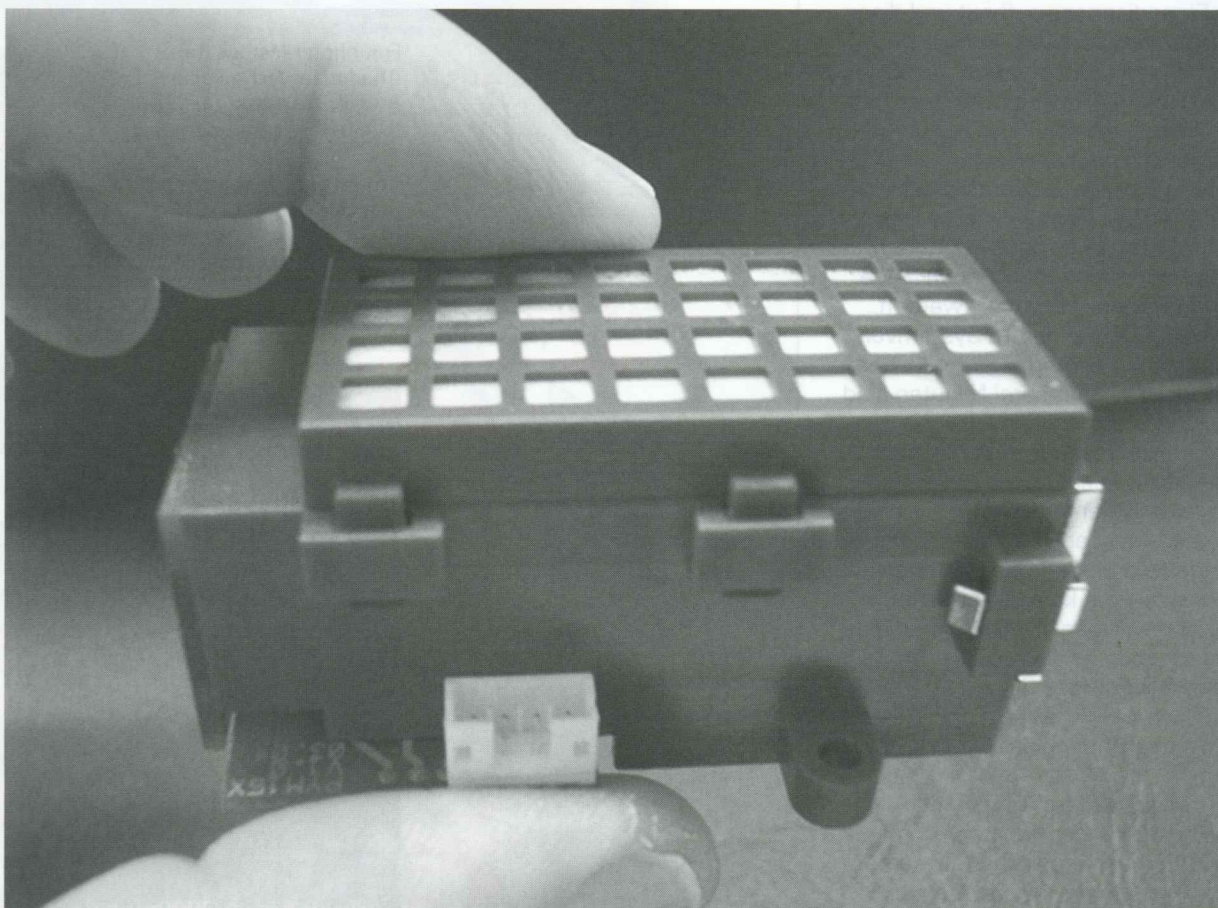


# CO<sub>2</sub>-Konzentration

## Sensorsystem zur Überwachung des Fahrzeug-Innenraums



Bei der bevorstehenden Einführung von Kohlendioxid als Kältemittel in Klimaanlage ist das Thema Leckage interessant. Die Fahrgasträume moderner Personenwagen stellen eine nach außen hin abgedichtete Zelle dar. Im Inneren können sich somit hohe Konzentrationen von giftigem CO<sub>2</sub> sammeln und die Insassen gefährden. An der Fachhochschule Dortmund wurde ein Sensorsystem entwickelt, mit dem die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Fahrzeugen praxisnah gemessen werden können.

## 1 Einleitung

Im Inneren moderner Pkw können sich hohe Konzentrationen von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) sammeln und die Insassen gefährden. Dies ist gerade im Hinblick auf die bevorstehende Einführung von  $\text{CO}_2$  als Kältemittel in Klimaanlage interessant, weil bei einer Leckage zusätzlich  $\text{CO}_2$  in den Innenraum gelangen kann.

Am Institut für Mikrosensorik der Fachhochschule Dortmund wurde ein Sensorsystem entwickelt, mit dem die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen in Fahrzeugen gemessen werden können. Anhand von praxisnahen Messungen in einem Pkw wurden die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen ermittelt, um das Gefahrenpotenzial aufzuzeigen.

## 2 Auswirkungen von Kohlendioxid auf den menschlichen Organismus

Kohlendioxid ist ein unsichtbares, geruchloses Gas. Es ist in der natürlichen Umgebungsluft mit 350–380 ppm vorhanden [1]. In dieser Konzentration ist  $\text{CO}_2$  ungefährlich. Steigt der Anteil jedoch, kann es zu Schädigungen des menschlichen Organismus kommen. Je nach Konzentration können die Auswirkungen unterschiedlich sein. Bereits ab 400 ppm wird die Luft für menschliches Empfinden schlecht [2]. Es kann zu Müdigkeit, Kopfdruck und Konzentrationsschwächen kommen.

Die in Deutschland gesetzlich definierte MAK-Grenze (MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration) liegt bei 0,5 Vol.-% (entspricht 5000 ppm). Dies ist der höchste Konzentrationswert, dem ein Arbeiter über acht Stunden ausgesetzt sein darf [1].  $\text{CO}_2$  entsteht auch im menschlichen Körper. Beim Atmen nimmt der Mensch Umgebungsluft und damit Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) auf. Im Körper wird ein Teil des Sauerstoffs in  $\text{CO}_2$  umgewandelt und mit der Atmung ausgestoßen.

## 3 Klimaanlagen und Kältemittel in Kraftfahrzeugen

In Pkw sind Klimaanlagen heute ein wichtiger und beliebter Teil der Ausstattung. Sie regulieren die Temperatur im Innenraum und tragen somit zum Wohlbefinden der Insassen bei. Auf langen Fahrten ermüdet der Fahrer durch das angenehme Klima weniger, und es fällt ihm leichter, sich auf das Verkehrsgeschehen zu konzentrieren. In der Bundesrepublik werden Klimaanlagen seit 1990 vermehrt in Kraftfahrzeugen eingebaut. Der Anteil der neu zugelassenen Kraftfahrzeuge mit Klimaanlage stieg von 9 % im Jahr 1990 auf über 85 % im Jahr 2004.

Ein Problem von Klimaanlagen ist neben einem erhöhten Kraftstoffverbrauch das Kältemittel im Inneren des Kühlkreislaufes mit seinen negativen Auswirkungen auf den Treibhauseffekt. Bis zirka 1994 wurde in den Klimaanlagen das Kältemittel R12 eingesetzt. R12 besitzt mit dem Wert 8000 ein enormes globales Erwärmungspotenzial (GWP) verglichen mit  $\text{CO}_2$ . Ein GWP von 1000 bedeutet, dass 1 kg eines Stoffes die gleichen Auswirkungen auf die Atmosphäre hat wie 1000 kg  $\text{CO}_2$ . Ein Kilogramm R12 bewirkt in der Atmosphäre also dasselbe wie 8000 kg  $\text{CO}_2$ .

Aus diesem Grunde ersetzte man R12 ab 1994 durch den Stoff R134a. Untersuchungen zeigten, dass R134a sich ohne großen Änderungsaufwand auch in Klimaanlagen verwenden ließ, welche zuvor mit R12 betrieben wurden. Das GWP von R134a ist mit dem Wert 1300 zwar rund sechs Mal geringer als bei R12, aber noch 1300-mal größer als bei  $\text{CO}_2$ . Klimaanlagen in Kfz besitzen Füllmengen von zirka 0,8 kg pro Fahrzeug. Bei jährlich 3,6 Millionen Neuzulassungen in Deutschland, von denen rund 80 % mit Klimaanlagen ausgestattet sind, bedeutet dies, dass jedes Jahr 2,3 Millionen kg R134a als Kältemittel abgefüllt werden. Bei einem GWP-Faktor von 1300 entspricht dies etwa 3 Millionen t  $\text{CO}_2$ . Dies allein stellt kein Problem dar, weil das Kältemittel bei Reparaturen und Wartungen abgesaugt und entsorgt werden kann. Das Entscheidende ist, dass jährlich ungefähr 10 % des Kältemittels bei Wartungsarbeiten, durch Leckagen oder defekte Dichtungen entweichen. Bei 2,3 Millionen kg R134a, die als Kältemittel abgefüllt werden, bedeutet dies einen Verlust von 230.000 kg R 143a, oder äquivalent 300 Millionen kg  $\text{CO}_2$  pro Jahr, die in die Atmosphäre gelangen [3].

Diese Zahlen gaben den Anstoß, nach Alternativen zu den bisher eingesetzten Kältemitteln zu suchen. Als viel versprechende Lösung scheint sich  $\text{CO}_2$  selbst anzubieten. Es liegt in großen Mengen vor, hat einen GWP von 1 und besitzt alle für Klimaanlagen nötigen Eigenschaften.  $\text{CO}_2$  besitzt eine höhere Kälteleistung als bisher verwendete Mittel, so dass bei gleicher Kühlleistung weniger Energie für den Betrieb der Klimaanlage benötigt wird [4].

## 4 Messungen

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde am Institut für Mikrosensorik untersucht, welche Werte die  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Innenraum eines Pkw erreichen kann. Um die vorstehend genannten Gefahren zu vermeiden, muss im Falle einer Leckage in der mit  $\text{CO}_2$  betriebenen Klimaanlage sichergestellt werden, dass die Konzentration

## Die Autoren



Volker Huelsekopf ist Student an der Fachhochschule Dortmund im Fachbereich Energie- und Umwelttechnik und Diplomand am Institut für Mikrosensorik.



Dipl.-Ing. (FH) Christian Stein ist wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Mikrosensorik der Fachhochschule Dortmund.



Prof. Dr.-Ing. Gerhard Wiegleb ist Leiter des Instituts für Mikrosensorik an der Fachhochschule Dortmund.

nen im Innenraum des Fahrzeugs unterhalb einer kritischen Grenze bleiben. Da Fehlalarme ausgeschlossen werden sollen, muss zuvor bekannt sein, welche Werte unter normalen Bedingungen erreicht werden können. Eine Messeinrichtung soll in der Lage sein, ein plötzlich auftretendes Leck, verbunden mit einem schnellen Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration, zu erkennen. Ebenso soll sichergestellt sein, dass die Konzentration, die durch die Atmung der Insassen ansteigt, keine kritischen Werte erreicht. Im Versuch wurde ausschließlich der  $\text{CO}_2$ -Gehalt ermittelt und folgende Einflussgrößen berücksichtigt:

- Anzahl der mitfahrenden Personen
- Stellung der Fenster
- Einstellung der Lüftung
- Einstellung der Umluftfunktion
- Auswirkung der Klimaanlage
- Konzentrationen in verschiedenen Pkw.

### 4.1 Zweistrahilverfahren

Die Messungen wurden mit einem im Institut für Mikrosensorik entwickelten Aufbau durchgeführt. Dieser arbeitet nach dem Infrarot-Absorptions-Verfahren [5]. Hierbei macht man sich eine besondere Eigenschaft von Gasen zu nutze. Die einzelnen Moleküle der Gase absorbieren Licht in einem bestimmten Wellenlängenbereich. Die dadurch entstehende Schwächung der Strahlungsintensität wird mittels pyroelektrischer Detektoren gemessen. Da jedes Gas nur einen bestimmten Bereich der Wellenlängen absorbiert, kann hier von einem

### 4.1 Zweistrahlverfahren

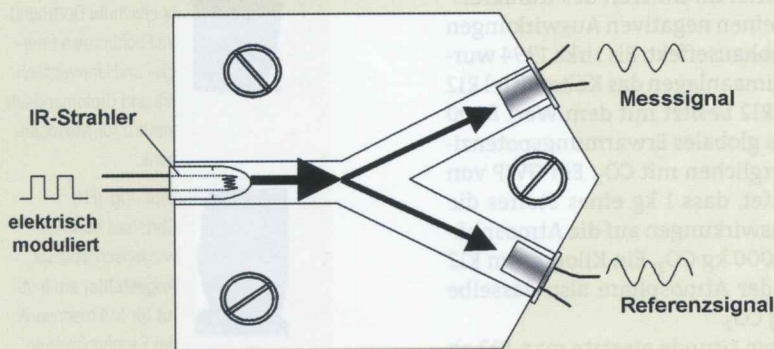


Bild 1: Prinzip des Zweistrahlverfahrens [6]  
 Figure 1: Principle of the dual beam method [6]

„Fingerabdruck“ gesprochen werden, der die verschiedenen Gase charakterisiert. Werden die pyroelektrischen Detektoren mit Filtern ausgestattet, kann eine selektive Messung erfolgen, die genaue Ergebnisse über die Zusammensetzung des Gases liefert.

Der für die Messungen verwendete Aufbau besitzt zwei Detektoren und eine Infrarot-Strahlungsquelle (IR-Strahler), **Bild 1**. Die Bohrung, welche die Strahlungsquelle aufnimmt, teilt sich in zwei symmetrisch zueinander angeordnete Küvetten, an deren Enden die Detektoren platziert sind. Die Strahlungsquelle emittiert Licht im sichtbaren und im infraroten Bereich. Das Licht durchläuft die Küvetten, und ein Teil der Strahlungsenergie wird vom Gas absorbiert. Der Messdetektor ist mit einem Filter ausgestattet, so dass er die Strahlung nur im Wellenlängenbereich von  $4,26 \mu\text{m}$  misst. Dies ist genau der Bereich, in dem  $\text{CO}_2$  eine Schwächung der Strahlungsintensität verursacht. Diese Intensitätsschwächung wird erfasst und in der Auswertelektronik in ein der Gaskonzentration proportionales Spannungssignal umgewandelt.

Der Referenzdetektor misst die Strahlung im Bereich von  $4,0 \mu\text{m}$ . In diesem Bereich wird von keinem Gas Strahlungsenergie absorbiert, und der Detektor kann die Intensität der Strahlungsquelle überwachen. Das Referenzsignal lässt sich verwenden, um die Alterung der Strahlungsquelle oder eine eventuelle Verschmutzung von Strahlungsquelle und Küvette zu überwachen [6].

### 4.2 Konstruktion

Die Umgebungsluft wird über eine Membranpumpe angesaugt und dem Sensor zugeführt. Der Sensor mit der gesamten Aus-

wertelektronik wurde in ein gekapseltes Gehäuse eingebaut und über das 12-V-Bordnetz betrieben. Alle erforderlichen Anschlüsse waren außen am Gehäuse montiert. Die Pumpe konnte an verschiedenen Orten im Pkw positioniert werden. So ließ sich feststellen, ob sich das  $\text{CO}_2$  im Innenraum verteilt oder an einer bestimmten Stelle, zum Beispiel am Boden, ansammelt.

Für die Versuche standen ein Opel Astra Caravan, Bj. 1995, und ein VW Golf IV, Bj. 1998, zur Verfügung. Im Wesentlichen wurden die Messungen im Alltagsbetrieb durchgeführt. Die Versuchswagen waren mit bis zu vier Personen besetzt. Die Fahrzeiten schwankten zwischen 30 Minuten und über einer Stunde. Der  $\text{CO}_2$ -Gehalt wurde an den folgenden zwei Orten im Fahrzeug gemessen:

- Mittelunnel zwischen den Vordersitzen
- Fußraum auf der Beifahrerseite.

Diese Orte schienen sinnvoll, weil der  $\text{CO}_2$ -Gehalt besonders in der Umgebung des Fahrers interessant ist, um diesen eventuell vor den zuvor genannten Gefahren zu schützen. Sämtliche Einstellungen wie Lüftung, Umluft, Klimaanlage, Fenster, Anzahl der Personen, Route und die Uhrzeit wurden in einem Fahrtenbuch festgehalten. Jede Änderung wurde notiert, um reproduzierbare Messergebnisse zur Auswertung zu erhalten.

### 4.3 Erste Messergebnisse

Die Messwerte wurden mit Excel-Tabellen und -Diagrammen ausgewertet. Hier sollen folgende Untersuchungsergebnisse dreier Testreihen genauer betrachtet werden:

- Fahrzeug mit 1 Person besetzt, Umluft aktiviert, Opel Astra
- Fahrzeug mit 1 Person besetzt, Umluft aktiviert, VW Golf

■ Fahrzeug mit 4 Personen besetzt, Umluft aktiviert.

In **Bild 2** ist zu erkennen, dass die  $\text{CO}_2$ -Konzentration stetig ansteigt. Obwohl nur eine Person im Fahrzeug saß, erreichte die Konzentration einen Wert von  $0,3 \text{ Vol.-%}$ . Dieser Wert ist um mehr als den Faktor 10 größer als der in der normalen Umgebungsluft. Erreicht wurde dieser Wert nach einer Fahrzeit von nur 52 Minuten [6].

Der in **Bild 3** dargestellte Verlauf der  $\text{CO}_2$ -Konzentration erreicht ein Maximum von  $0,29 \text{ Vol.-%}$ . Diese Konzentrationswerte entsprechen etwa den Werten, die in **Bild 2** dargestellt sind. Auch in diesem Fall war die Zeit, nach der die Konzentration erreicht wurden, sehr kurz. Das Maximum der Konzentration in dieser Messung wurde bereits nach 42 Minuten erreicht [6].

### 4.4 Vergleich der Messungen

Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration um  $0,3 \text{ Vol.-%}$ , die in beiden Fällen erreicht wurde, ist mehr als 10 Mal höher als die natürliche. Dieser Wert wurde mit nur einer Person erreicht, bei Fahrzeiten von unter einer Stunde. Die Konzentration stiegen bis zum Ende der Messung kontinuierlich an, was darauf hindeutet, dass der Maximalwert noch nicht erreicht wurde. Bedingt durch die verschiedenen Innenraumvolumina der Fahrzeuge, variiert die Anstiegszeit in den beiden Messungen. Trotz unterschiedlicher Messpositionen und Lüftungseinstellungen, liegen die Messwerte dicht beieinander, was sich auf eine gute Durchmischung der Luft im Fahrbetrieb zurückführen lässt. Das Kohlendioxid sammelt sich somit nicht in Bodennähe, sondern verteilt sich im Innenraum des Fahrzeugs.

Weiterhin wurde die Konzentration im Innenraum gemessen, während sich vier Personen im Pkw befanden. Bemerkenswert ist der sehr steile Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration, in **Bild 4** dargestellt. Bereits nach 30 Minuten ist der Spitzenwert der Konzentration von über  $0,71 \text{ Vol.-% CO}_2$  erreicht. Dieser Wert liegt fast 20-mal über dem Wert der Umgebungsluft und verursacht bei den mitfahrenden Personen, Unwohlsein in Form von Müdigkeit, erschwelter Atmung und leichten Kopfschmerzen. Aufgrund der aktivierten Umluftfunktion stieg nicht nur die  $\text{CO}_2$ -Konzentration, sondern auch die Luftfeuchtigkeit im Fahrzeug stark an. Durch die hohen Außentemperaturen heizte sich der Innenraum zudem stark auf.

Um für angenehme Temperaturen zu sorgen, wurde die Klimaanlage eingeschaltet, die auch die Luft im Innenraum trocknet. Die Umluftfunktion war jedoch weiterhin aktiviert. Als die erste Person ausstieg, sank die Konzentration sofort deutlich von

### 4.3 Erste Messergebnisse

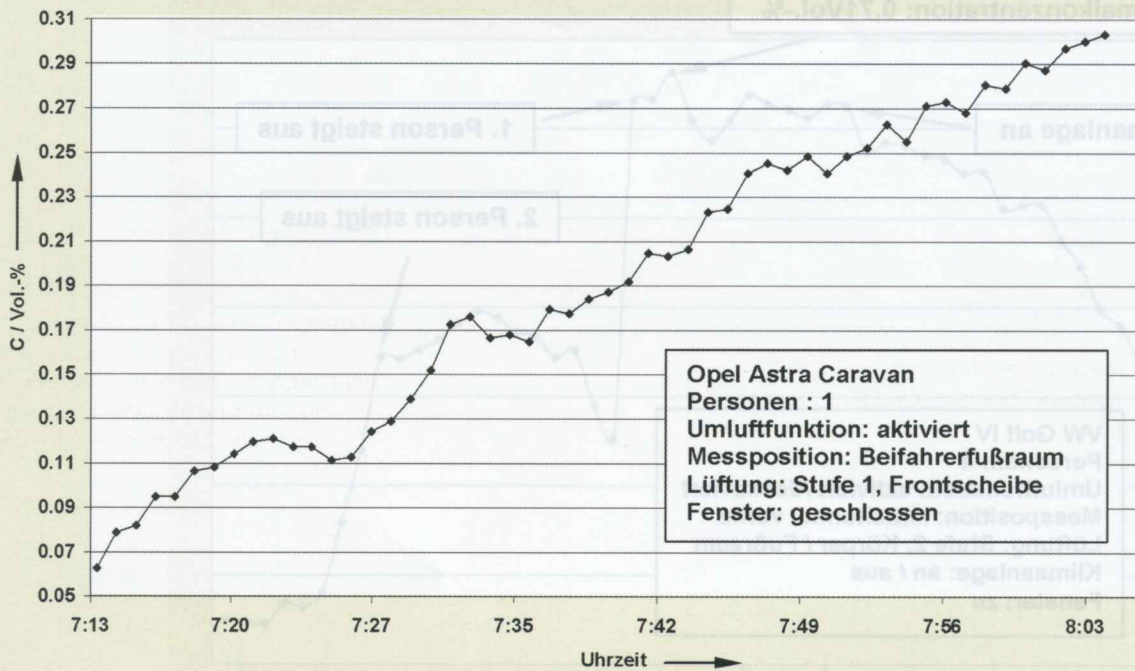


Bild 2: Typischer Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Opel Astra Caravan (mit einer Person besetzt, Umluftfunktion aktiviert)

Figure 2: Typical increase of the CO<sub>2</sub>-concentration inside of a Vauxhall Astra Caravan (with one passenger inside, air-circulation activated)

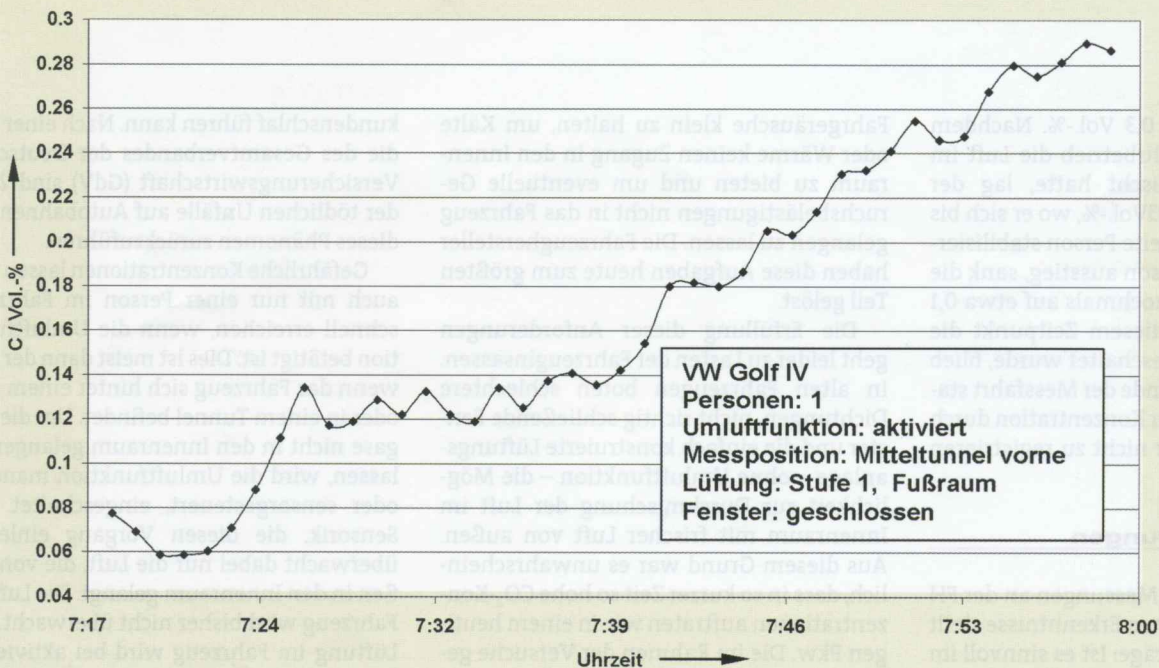


Bild 3: Typischer Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem VW Golf (mit zwei Personen besetzt, Umluftfunktion aktiviert)

Figure 3: Typical course of the CO<sub>2</sub>-concentration inside of a VW Golf (with two passengers inside, air-circulation activated)

#### 4.4 Vergleich der Messungen

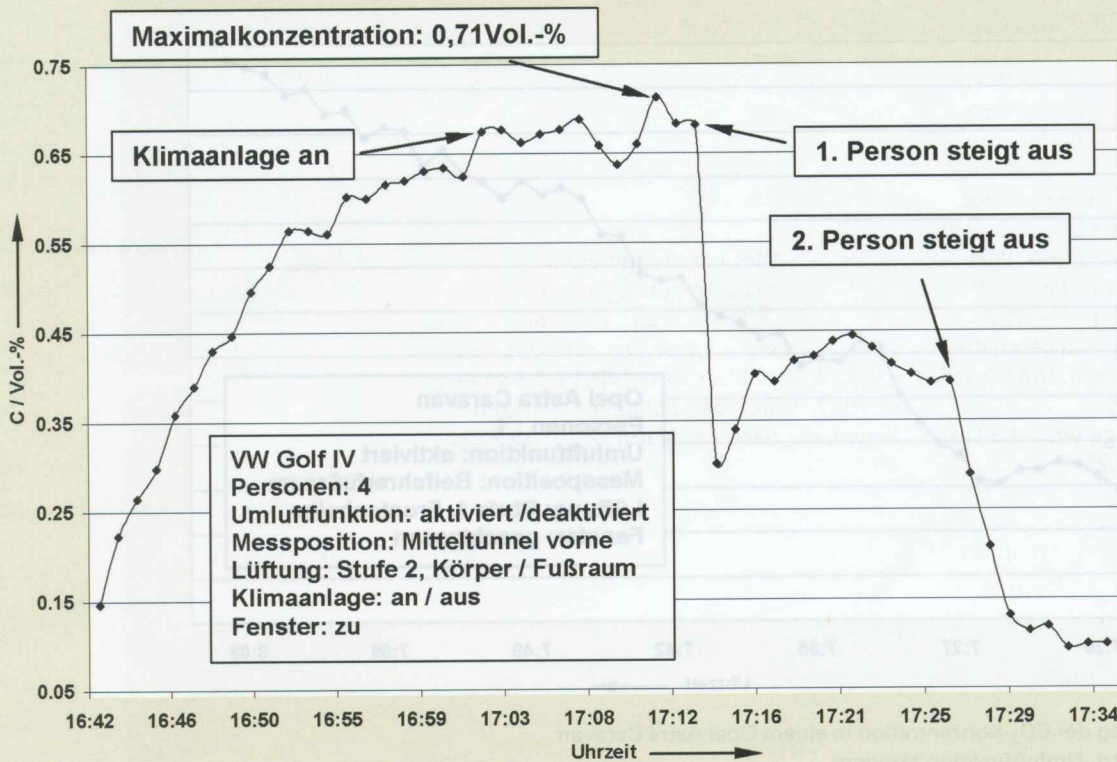


Bild 4: Typischer Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem VW Golf (mit vier Personen besetzt, Umluftfunktion aktiviert)  
 Figure 4: Typical course of the CO<sub>2</sub>-concentration inside of a VW Golf (with four passengers, air-circulation activated)

0,7 Vol.-% auf etwa 0,3 Vol.-%. Nachdem sich im erneuten Fahrbetrieb die Luft im Innenraum durchmischt hatte, lag der Wert bei etwa bei 0,43Vol.-%, wo er sich bis zum Ausstieg der zweite Person stabilisierte. Als die zweite Person ausstieg, sank die CO<sub>2</sub>-Konzentration nochmals auf etwa 0,1 Vol.-%. Obwohl zu diesem Zeitpunkt die Umluftfunktion abgeschaltet wurde, blieb dieser Wert bis zum Ende der Messfahrt stabil. Eine Änderung der Konzentration durch die Klimaanlage war nicht zu registrieren [6].

#### 5 Schlussfolgerungen

Aufgrund der in den Messungen an der FH Dortmund gewonnenen Erkenntnisse stellt sich vor allem eine Frage: Ist es sinnvoll im Rahmen der Untersuchung nach der maximal möglichen CO<sub>2</sub>-Konzentration zu fragen? Der Innenraum moderner Pkw soll gegen Umwelteinflüsse gut geschützt sein. Zu den gerade heute geltenden Qualitätsanforderungen zählt daher auch absolute Dichtigkeit, um den Geräuschpegel der

Fahrgeräusche klein zu halten, um Kälte oder Wärme keinen Zugang in den Innenraum zu bieten und um eventuelle Geruchsbelästigungen nicht in das Fahrzeug gelangen zu lassen. Die Fahrzeughersteller haben diese Aufgaben heute zum größten Teil gelöst.

Die Erfüllung dieser Anforderungen geht leider zu Lasten der Fahrzeuginsassen. In alten Fahrzeugen boten schlechtere Dichtungen, nicht richtig schließende Fenster und die einfach konstruierte Lüftungsanlage – ohne Umluftfunktion – die Möglichkeit zur Durchmischung der Luft im Innenraum mit frischer Luft von außen. Aus diesem Grund war es unwahrscheinlich, dass in so kurzer Zeit so hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auftraten wie in einem heutigen Pkw. Die im Rahmen der Versuche gemachten Erfahrungen zeigen, dass schon Konzentrationen im Bereich von 0,2 bis 0,3 Vol.-% von den Insassen als sehr unangenehm empfunden werden. Die Konzentrationsfähigkeit des Fahrers lässt nach, was gerade beim Autofahren gefährlich ist, und unter Umständen zum so genannten Se-

kundenschlaf führen kann. Nach einer Studie des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GdV) sind 24 % der tödlichen Unfälle auf Autobahnen auf dieses Phänomen zurückzuführen.

Gefährliche Konzentrationen lassen sich auch mit nur einer Person im Fahrzeug schnell erreichen, wenn die Umluftfunktion betätigt ist. Dies ist meist dann der Fall, wenn das Fahrzeug sich hinter einem Lkw oder in einem Tunnel befindet. Um die Abgase nicht in den Innenraum gelangen zu lassen, wird die Umluftfunktion manuell, oder sensorgesteuert, eingeschaltet. Die Sensorik, die diesen Vorgang einleitet, überwacht dabei nur die Luft, die von außen in den Innenraum gelangt. Die Luft im Fahrzeug wird bisher nicht überwacht. Die Lüftung im Fahrzeug wird bei aktivierter Umluftfunktion nicht mehr mit Frischluft versorgt. Es erfolgt lediglich eine Umwälzung der vorhandenen Luft im Innenraum, und das ausgeatmete CO<sub>2</sub> kann nicht mehr entweichen. Oft vergisst der Fahrer, die eingeschaltete Umluftfunktion zu deaktivieren, und der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Fahrzeug steigt

an. In Fahrzeugen ohne Klimaanlage macht sich dieser Zustand schnell bemerkbar, weil die Luftfeuchtigkeit im Innenraum recht schnell ansteigt und sich ab einem gewissen Wert an den Scheiben niederschlägt. Die Luft wird als stickig empfunden. Die höhere Konzentration an Kohlendioxid bemerkt der Fahrer, wenn überhaupt, durch Unwohlsein und Müdigkeit. Dass diese Symptome durch die schlechte Luft verursacht werden, ist dem Fahrer oft nicht bewusst. Häufig wird nur für ein paar Sekunden das Fenster geöffnet, um Frischluft in den Innenraum zu bekommen. Wird die Umluftfunktion jedoch nicht abgeschaltet, ist der Anteil des CO<sub>2</sub> im Innenraum schnell wieder so hoch wie vorher.

In Pkw mit Klimaanlage wird die Luft zusätzlich zur Umluftfunktion noch getrocknet. Dieser Umstand vergrößert die Zeitspanne, bis der Fahrer die schlechte Qualität der Luft bemerkt. Bei mehreren Personen können sich so je nach Fahr-

strecke schnell Konzentrationen bilden, die weit über 0,7 Vol.-% liegen. Dies wurde aufgrund der Messungen belegt. Zu beachten ist außerdem, dass dieser Wert deutlich über dem gesetzlich definierten MAK-Wert von 0,5 Vol.-% liegt. Eine sensorgesteuerte Elektronik wäre in der Lage, die Luft im Innenraum eines Pkw zu kontrollieren und bei Überschreitung einer zuvor festgelegten, ungefährlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration die Fahrgastzelle mit Frischluft zu versorgen. Dies könnte mit einer bedarfsgesteuerten Lüftung erfolgen, welche die Zufuhr von Frischluft an die Verhältnisse im Innenraum anpasst. Der Wert, bei dem die Umluftfunktion deaktiviert wird, sollte deutlich unter der Behaglichkeitsgrenze liegen, die nach der Norm DIN 1946-2 bei 1500 ppm liegt. Die notwendige Auswertelektronik könnte im heute üblichen Bordrechner untergebracht werden und würde nicht viel Platz in Anspruch nehmen.

## Literaturhinweise

- [1] Wiegleb, G.: Skript Umweltmesstechnik. Fachhochschule Dortmund
- [2] Seger, B.: Spürnasen sorgen für frische Luft. Fraunhofer-Gesellschaft, <http://www.fraunhofer.de/german/publications/df/df1996/196-26ff.htm>
- [3] DKV Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Bremen, 22. bis 24. November 2000, <http://www.oeko-recherche.de/deutsch/auto-ac.html>
- [4] Beitzke, D.: Auto-Klimaanlagen. <http://www.beitzke.de/de/Klimawandel.htm>
- [5] Wiegleb, G.: Vorrichtung zur Steuerung der Frischluftzufuhr in Fahrzeugen. Patent DE 102 00 953 A1 (12. Januar 2002)
- [6] Huelsekopf, V.: Ingenieurmäßige Arbeit 2003, Institut für Mikrosensorik, Fachhochschule Dortmund

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**. For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



**ATZ** Vieweg Verlag, Postfach 1646, D-65173 Wiesbaden  
Hotline 06 11 78 78-151, Fax 06 11 78 78-423  
email: [vieweg.service@gvw-fachverlage.de](mailto:vieweg.service@gvw-fachverlage.de)

## Helium Dichtheitsprüfsysteme höchster Produktivität und Zuverlässigkeit

TELSTAR ECE HELIUM-DICHTHEITSPRÜFANLAGEN



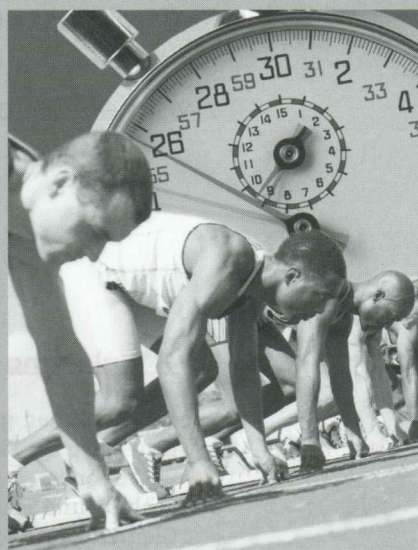
ECE-He

Besuchen Sie uns auf der  
IKK Nürnberg  
Halle 2 - Stand 2/689

**TELSTAR**  
INDUSTRIAL

TELSTAR DEUTSCHLAND  
Zweigniederlassung  
Korschenbroich der Telstar  
Industrial S.L.  
P.O. BOX 2221  
Auf den Kempen 11  
D-41340 KORSCHENBROICH  
Tel. +49 2161 46 50 56 2  
Fax +49 2161 46 50 56 3  
E-mail: [udoodt@telstar.com](mailto:udoodt@telstar.com)  
[www.etelstar.com](http://www.etelstar.com)

## Einfach Prüfen!



Kommt Ihnen das bekannt vor? Teure Maschinen mit Funktionen, die man nie braucht und nur nach einem zweiwöchigen Seminar bedienen kann?

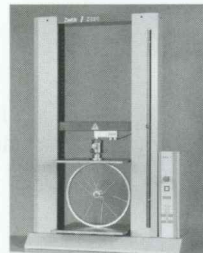
Damit ist jetzt Schluss!

Mit der BasicLine haben wir für Sie ein System entwickelt, mit dem Sie kostengünstig und einfach prüfen können. Funktionsprüfungen an Bauteilen sind ebenso möglich wie einfache Materialprüfungen – Sie profitieren dabei natürlich von den gewohnt sicheren Ergebnissen der Zwick-Prüfgeräte. Und das schon nach nur einer Woche Lieferzeit!

Gerne senden wir Ihnen auf Anfrage weiteres Informationsmaterial zu!

Zwick GmbH & Co.KG  
August-Nagel-Straße 11 • D-89079 Ulm  
Telefon 0 73 05 - 100 • Fax 0 73 05 - 102 00  
[info@zwick.de](mailto:info@zwick.de) • [www.zwick.de](http://www.zwick.de)

**Zwick / Roell**



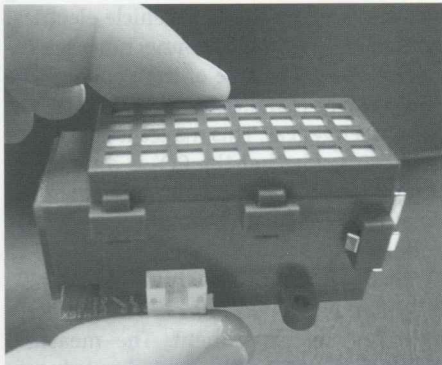
BasicLine - einfach prüfen!

Besuchen Sie unsere Fachmesse „Prüftechnik“ in Ulm vom 11.-14.10.2004, Infos unter: [www.prueftechnik-portal.de](http://www.prueftechnik-portal.de)

## CO<sub>2</sub>-Konzentration - Sensorsystem zur Überwachung des Innenraums

# CO<sub>2</sub> Concentration

## Sensor System for Monitoring the Interior



Considering the upcoming introduction of carbon dioxide as a coolant in air conditioning systems, the question of leakage is especially important. The interior of modern passenger cars must be considered as a sealed cell. Thus, high concentrations of toxic CO<sub>2</sub> can occur inside the vehicle and endanger the passengers. At Dortmund University of Applied Sciences, a sensor system that is able to measure CO<sub>2</sub> concentrations in vehicles in real conditions has been developed.

### 1 Introduction

The interior of a modern passenger car must be considered as an almost completely sealed cell. Inside, high concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) that can be hazardous for passengers can develop. Considering the upcoming introduction of CO<sub>2</sub> as a coolant in air conditioners, the question of leaks in the cooling system is especially important, as additional CO<sub>2</sub> can enter the interior of the vehicle.

The Institute for Micro Sensors of the University of Applied Sciences in Dortmund has developed a sensor system that is able to measure CO<sub>2</sub> concentrations in vehicles. With the help of measurements in a car, simulated to reflect real conditions, CO<sub>2</sub> concentrations were determined to show the potential of danger.

### 2 Effects of Carbon Dioxide on the Human Organism

Carbon dioxide is an invisible, odourless gas. Natural air contains between 350 and 380 ppm of CO<sub>2</sub> [1]. In this concentration, CO<sub>2</sub> is not dangerous, but if the concentration increases, this can harm the human organism. The effects can vary depending on the concentration. At a concentration of 400 ppm, the air is already subjectively perceived as bad by the human organism [2]. This can lead to fatigue, headaches and poor concentration.

The threshold limit value (in German: MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration, i. e. maximum workplace concentration) defined by German law is set at 0.5 vol.% (equivalent to 5000 ppm). This is the highest legal concentration a worker is al-

lowed to endure over a period of eight hours [1]. CO<sub>2</sub> is also produced inside the human body. A human being inhales air and, along with that, oxygen (O<sub>2</sub>) when breathing. Inside the human organism, part of the oxygen is converted into CO<sub>2</sub> and exhaled.

### 3 Air Conditioning and Coolants in Motor Vehicles

Air conditioning systems are an important and popular feature in passenger cars nowadays. They regulate the temperature inside the car, thus making driving more enjoyable for passengers. During long journeys, the driver does not tire so quickly because of the comfortable climate and it is easier for him or her to concentrate on the traffic. Since 1990, there has been an increase in the number of air conditioning systems installed in cars in Germany. The share of newly registered cars with air conditioning increased from 9 % in 1990 to over 85 % in 2004.

Apart from the increased fuel consumption, one drawback of air conditioning systems is the coolant inside the cooling system and its negative consequences for the "greenhouse effect". Until 1994, the coolant R12 was used as a cooling material in air conditioners. With a value of 8000, R12 has an enormous global warming potential (GWP) compared to CO<sub>2</sub>. A GWP of 1000 means that 1 kg of this substance has the same effects on the atmosphere as 1000 kg of CO<sub>2</sub>. Thus, 1 kg of R12 has the same effects on the atmosphere as 8000 kg of CO<sub>2</sub>.

Because of this, the material R134a replaced R12 in 1994. Surveys showed that R134a could easily be used in air conditioning systems that previously used R12. The GWP of R134a is 1300 and therefore six times less than R12, but still 1300 times greater than that of CO<sub>2</sub>. Air conditioning systems in passenger cars have a capacity of about 0.8 kg per vehicle. Considering the 3.6 million cars that are newly registered in Germany per year, 80 % of which are equipped with air conditioning, that adds up to 2.3 million kg of R134a used in those air conditioners. A GWP of 1300 is equivalent to 3 million tons of CO<sub>2</sub>. This fact alone is actually not the problem, as the coolant can be collected and disposed of when repairs or servicing are necessary. But the major problem is that 10 % of the coolant escapes from the system during servicing or through leaky seals per year. Thus, with 2.3 million kg of R134a in use, a loss of 230,000 kg R134a, or equivalent 300 million kg of CO<sub>2</sub> per year escapes into the atmosphere [3].

These alarming figures motivated the search for alternatives to the coolants that

are used at present. CO<sub>2</sub> seems to be a promising alternative. It is available in large quantities, has a GWP of 1 and all the qualities that are needed in air conditioning systems. CO<sub>2</sub> has a higher cooling capacity than the liquids currently used, so less energy is necessary for running the air conditioning system while the cooling power remains the same [4].

### 4 Measurements

A research project carried out by the Institute for Micro Sensors investigated the CO<sub>2</sub> concentrations that can be reached inside passenger cars. In order to avoid the dangers described above if a CO<sub>2</sub> air conditioning system leaks, one must ensure that the concentration of CO<sub>2</sub> stays below a critical limit. First, one needs to determine which concentrations can be reached under normal conditions in order to avoid false alarms. A measuring device should be able to detect leaks in the system along with sudden increases in the CO<sub>2</sub> concentration. It should also make sure that the concentration, which rises as a result of the passengers' normal breathing, does not reach critical limits. In the experiments, only the CO<sub>2</sub> concentration was determined, with the following influences being taken into consideration:

- the number of the passengers in the car
- the position of the windows
- the settings of the ventilation system
- the setting of the air circulation system
- the effect of the air conditioner
- the concentrations in different passenger cars.

#### 4.1 Dual Beam Principle

The measurements were carried out with a special set-up that was developed by the Institute for Micro Sensors. This set-up uses the infrared absorption method [5]. This method takes advantage of certain characteristics of gases. The singular molecules of gases absorb light in a certain wavelength region. The developing decrease in the intensity of the light can be measured with the aid of pyro-electric detectors. As every gas only absorbs a certain sphere of the wavelengths, this can be seen as a "fingerprint" that characterizes the different gases. The pyro-electric detectors can be equipped with filters to allow more selective measuring, thus enabling precise results on the composition of the gas to be obtained.

The set-up used for the measurements contains two detectors and one infrared light source (IR emitter), **Figure 1**. The bore in which the light source is mounted splits up into two symmetrically arranged sam-

ple cells, at the ends of which the detectors are placed. The light source emits rays in the visible and infrared regions. The light passes the sample cells and the gas absorbs part of the ray energy. The measuring detector is equipped with a filter that measures only the rays in the region of 4.26 μm. This is exactly the sphere in which CO<sub>2</sub> causes a weakening of the infrared radiation. This weakening of the intensity is registered and transferred by the analysing electronics into a voltage signal that is proportional to the gas concentration.

The reference detector measures the rays at 4.0 μm. In this region, no gas absorbs infrared radiation and the detector can observe the intensity of the infrared source. The reference signal can be used to survey the ageing of the light source or a possible pollution of the light source or the sample cell [6].

#### 4.2 Design

The surrounding air is drawn in by a diaphragm pump and fed to the sensor. The sensor with the entire signal evaluation electronics is installed in a sealed housing and powered by the 12 V vehicle electrical system. All necessary connections are installed on the outside of the housing. The pump can be installed at different places in the passenger car. This makes it possible to determine whether the CO<sub>2</sub> is distributed throughout the passenger compartment or whether it collects at a certain place, for example at the bottom.

Two cars, an Opel Astra Caravan 1995 model and a VW Golf IV 1998 model, were used for the experiment. The measurements were primarily carried out during everyday usage. The cars used for the tests carried up to four passengers. The journey times varied between 30 minutes and more than one hour. The CO<sub>2</sub> concentrations were measured in the following two locations in the car:

- the drive shaft tunnel between the two front seats
- the foot well on the front passenger side.

These places were chosen since the CO<sub>2</sub> concentration especially near the driving seat is of great importance in safeguarding the driver from the dangers mentioned above. All settings and values of the ventilation system, circulation system, air conditioning, windows, number of passengers, route and time were recorded in a driver's log. Every change was registered in order to achieve reproducible measuring results for the analysis.

#### 4.3 First Measurement Results

The results were analysed using Excel tables and diagrams. In the following, three



results of the experiments will be looked at more closely:

- Car with 1 person, air circulation activated, Vauxhall Astra
- Car with 1 person, air circulation activated, VW Golf
- Car with 4 persons, air circulation activated

**Figure 2** shows that the CO<sub>2</sub> concentration is constantly rising. Though only one person was inside the car, the concentration reached 0.3 vol.%. This concentration is more than 10 times higher than in normal surrounding air. It was reached after only 52 minutes of driving [6].

The curve of the CO<sub>2</sub> concentration shown in **Figure 3** reaches a maximum of 0.29 vol.%. These figures correspond approximately to those shown in Figure 2. In this case too, the time taken to reach such a concentration was quite short. In this test, it took 42 minutes to reach the maximum concentration [6].

#### 4.4 Comparison of the Measurements

The CO<sub>2</sub> concentrations of around 0.3 vol.% that were reached in both cases were more than 10 times higher than normal. This figure was reached with only one person in the car and with driving times of less than one hour. The concentrations increased continually until the end of the experiment, so it is likely that the maximum was not yet reached. The time of the increase varied in the two measurements, due to the different volumes of the interiors of the two cars in use. In spite of the different measuring locations and settings of the air ventilation system, the results were similar, resulting from good mixing of the air during driving. Therefore, the CO<sub>2</sub> does not collect at the bottom of the passenger compartment but mixes throughout the interior of the car.

Furthermore, the concentration inside the passenger car was measured with four persons in the car. The very steep rise in the concentration is very remarkable, as shown in **Figure 4**. After only 30 minutes, the concentration reaches the maximum of 0.71 vol.%. This value is 20 times higher than the content in natural air and the passengers felt uncomfortable, complaining of fatigue, heavy breathing and slight headaches. The activation of the air circulation system caused not only the CO<sub>2</sub> concentration to increase but also the atmospheric humidity inside the car. The inside of the car was also heated up due to high outside temperatures.

In order to achieve more comfortable temperatures, the air conditioning system, which also dehumidifies the air within the

car, was switched on. The air circulation system remained activated. As soon as the first person got out of the car, the concentration decreased remarkably, from 0.7 to 0.3 vol.%. After the air had mixed again as the journey continued, the concentration went up to 0.43 vol.%, where it stabilized until the second person got out of the car. When the second person left, the figure went down again to about 0.1 vol.%. Although the air circulation system was deactivated at this point, the value stayed the same until the end of the journey. A change in the concentration due to the air conditioner was not observed [6].

#### 5 Conclusions

One important question arises in view of the findings gained during the experiment at the Dortmund University of Applied Sciences: Does it make sense to ask for the highest possible CO<sub>2</sub> concentration within the framework of this study? The interior of a modern passenger car is expected to be protected against all kinds of environmental influences. Today's standards of quality demand an almost airtight interior in order to keep engine noise low and to keep cold and heat as well as annoying smells outside the car. The car manufacturers have met these standards almost completely today.

But solving these problems has caused new and different problems for the passengers. In older cars, poorer-quality seals and the lack of airtight windows along with simpler ventilation systems without air circulation allowed the air inside the car to be constantly mixed with fresh air from outside. For this reason, it was impossible for high CO<sub>2</sub> concentrations to be reached in a short time, as is the case in modern cars. The experience gained in this study showed that even concentrations of between 0.2 and 0.3 vol.% resulted in passengers feeling uncomfortable. The driver's attention also diminishes, which is especially dangerous as it can lead to so-called "microsleep". According to a study carried out by the Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GdV), 24 % of fatal accidents on highways are due to this phenomenon.

Dangerous concentrations can already be reached with only one person in the car if the air ventilation is activated. This is often the case when the car is behind a truck or in a tunnel. The air circulation system is activated manually or by a sensor to keep the exhaust fumes outside the car. The sensor that activates the circulation only monitors the air that comes from outside the car. The air inside the car is not currently

monitored. The ventilation system in the car no longer provides fresh air if the air circulation system is activated. The air that is already inside is only circulated, but the CO<sub>2</sub> that is exhaled cannot escape. Often, the driver forgets to deactivate the air circulation and the CO<sub>2</sub> concentration increases. In cars without air conditioning, this can be observed as the humidity rises quickly and, above a certain concentration, the windows start to steam up. The air feels humid and uncomfortable. The driver perceives the higher concentration of CO<sub>2</sub> – if at all – by feeling uncomfortable and tired. Often, however, it is not clear to the driver that these symptoms are the result of the poor air quality. In most cases, the window is opened only for a few seconds to allow some fresh air into the car. But if the air circulation system is not deactivated, the concentration will soon become as high as before.

In cars with air conditioning, the air is dehumidified in addition to providing the air circulation facility. This fact even prolongs the time period until the driver recognizes the poor air quality. If more than one passenger is in the car, this can easily lead to concentrations that are well above 0.7 vol.%, depending on the length of the journey. This was proven in the experiments. It is also important to notice that this figure is well above the legal MAK limit of 0.5 vol.%. An electronic device that is controlled by a sensor could regulate the air inside the car and draw in fresh air if the concentration rises above a previously determined CO<sub>2</sub> concentration. This could work with individual ventilation, which balances the amount of fresh air with the requirements inside the car. The concentration at which the air circulation is to start should be well below the limit at which the air is considered bad, which, according to DIN 1946-2, is 1500 ppm. The necessary signal evaluation electronics could be integrated into the vehicle's electronic unit and would take up only little space.

#### References

- [1] Wiegleb, G.: Skript Umweltmesstechnik, Fachhochschule Dortmund
- [2] Seger, B.: Spürnasen sorgen für frische Luft, Fraunhofer-Gesellschaft, <http://www.fraunhofer.de/german/publications/df/df1996/196-26ff.htm>
- [3] DKV Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Bremen, 22. bis 24. November 2000, <http://www.oeko-recherche.de/deutsch/auto-ac.html>
- [4] Beitzke, D.: Auto-Klimaanlagen, <http://www.beitzke.de/de/Klimawandel.htm>
- [5] Wiegleb, G.: Vorrichtung zur Steuerung der Frischluftzufuhr in Fahrzeugen. Patent DE 102 00 953 A1 (12. Januar 2002)
- [6] Huelsekopf, V.: Ingenieurmäßige Arbeit 2003, Institut für Mikrosensorik, Fachhochschule Dortmund