

CO₂-Sensoren

Funktionsprinzip und Quereinflüsse

Zum Thema CO₂, seinen Vorkommen und typischen Konzentrationen haben wir bereits einen Artikel veröffentlicht. Hier soll es um die Messung von CO₂ gehen.

Messverfahren

Wie bei jeder Messgröße stellt sich auch bei CO₂ zuerst die Frage: wie kann die vorhandene Konzentration in ein elektrisches Signal umgewandelt werden? Drei wichtige Verfahren für CO₂:

1. Chemische Reaktion von CO₂ mit bestimmten Substanzen
2. Thermische Leitfähigkeit
3. Anregung der CO₂-Moleküle durch infrarotes Licht (IR)

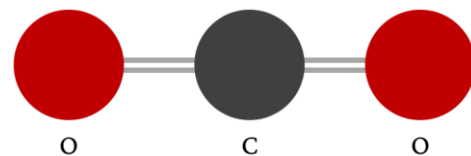


Abbildung 1 – CO₂-Molekül

Zu ersterem zählen die VOC-Sensoren mit Ausgabe eines CO₂-Äquivalents. Diese Sensoren reagieren sehr unspezifisch auf eine Vielzahl von Gasen, sind wenig langzeitstabil und folglich eher als *Schätzzeisen* denn als Sensoren zu bezeichnen. Die Entdeckung einer Substanz, welche selektiv auf CO₂ reagiert, könnte dieses Verfahren jedoch in Zukunft interessant machen.

Besser schneidet aktuell die Messung per thermischer Leitfähigkeit ab. Da Gase unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten aufweisen, kann durch deren Messung auf die Gaskonzentration rückgeschlossen werden. Diese Art der Detektion wird seit Anbeginn der Gasanalytik eingesetzt. Heute werden per MEMS-Technologie (*micro-electro-mechanical system*) Genauigkeiten von etwa ±100 ppm in ICs erreicht. Aufgrund der Miniaturisierung reichen Heizströme im unteren mA-Bereich aus.

Die Messung per IR-Strahlung ermöglicht die bis dato höchste Messgenauigkeit. Als ideale Wellenlänge hat sich dabei 4,26 µm im mittleren IR herausgestellt (Abbildung 2). Das hat zwei Gründe: die CO₂-Absorption ist in diesem Bereich sehr groß; und kein anderes Gas, welches in der Atmosphäre vorkommt, absorbiert nennenswert bei dieser Wellenlänge. Selbst Wasserdampf, der über weite Bereiche absorbiert, hat hier nur einen geringen Einfluss.

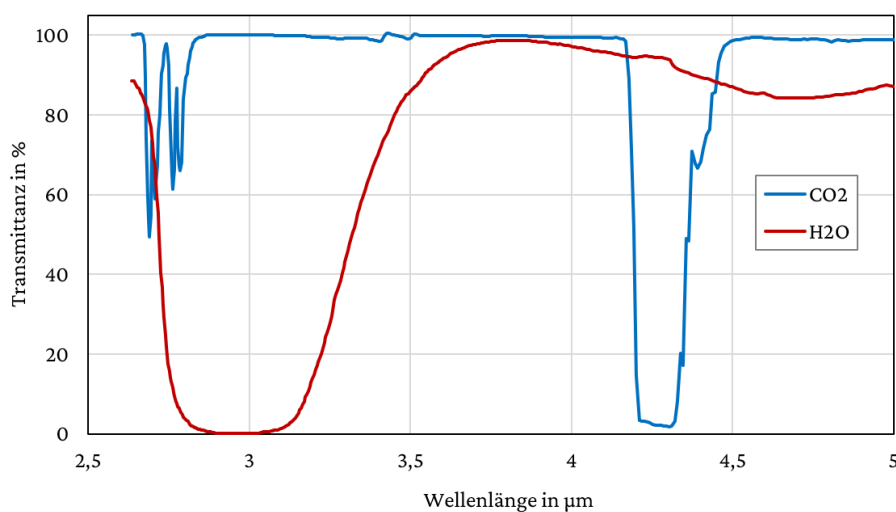


Abbildung 2 – »Durchlässigkeit« von CO₂ im IR-Bereich (blau). Im Vergleich: Wasserdampf (rot). Daten: NIST.

NDIR Messverfahren

Vermutlich am häufigsten zu finden ist das NDIR-Verfahren. ND steht für *non-dispersive*, daher nicht-streuend¹. Das Prinzip ist einfach: man leuchtet mit einer IR-Quelle in die Messkammer hinein und misst auf der anderen Seite, wie viel Strahlung am IR-Detektor ankommt. Je weniger, desto mehr CO₂ befindet sich in der Messkammer.

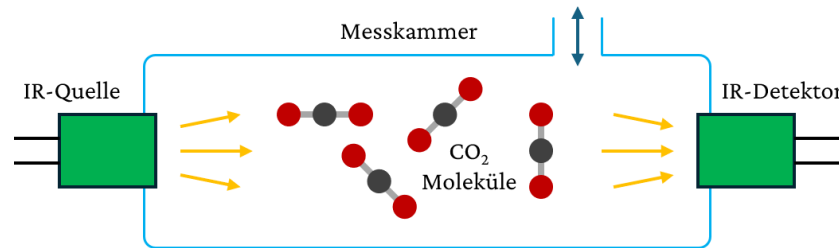


Abbildung 3 – CO₂-Messung nach dem NDIR-Verfahren.

Das Diagramm aus Abbildung 2 erweckt den Eindruck, dass CO₂ bei 4,26 µm nahezu perfekt absorbiert. Das stimmt jedoch nur bei großen Weglängen (viele cm) und 100 % CO₂. Möchte man geringere Konzentrationen wie die üblichen 5000 ppm bei gleichzeitig kleinen Sensorabmessungen bestimmen, so wird nur ein geringer Teil der IR-Strahlung absorbiert. Um wiederum auf Dauer mit üblichen ±50 ppm Toleranz zu messen, werden hohe Ansprüche an das Messsystem gestellt:

- Die Alterung der IR-Quelle muss berücksichtigt werden; vor allem kritisch, wenn es um thermische Emitter geht
- Die Geometrie des gesamten optischen Systems muss möglichst unveränderlich bleiben; das betrifft insbesondere die Reflexionseigenschaften der Messkammer²
- Das System muss gut gegenüber Temperaturänderungen kompensiert werden: Quelle, Detektor, thermische Ausdehnung, Gasverhalten, etc.

Um diesen Ansprüchen zu genügen, wird oft auf eine *absolute* CO₂-Messung verzichtet. Viele Hersteller setzen auf die deutlich einfachere *relative* CO₂-Messung.

Absolute vs. relative Messung

Bei der **absoluten** Messung wird versucht, den gesamten CO₂-Sensor möglichst langzeitstabil zu konstruieren. Die verbleibenden Unwägbarkeiten werden kompensiert, indem eine Referenzmessung ohne CO₂ durchgeführt wird. Am einfachsten wird dafür zusätzlich bei 3,91 µm gemessen. Bei dieser Wellenlänge absorbiert kein in der Luft vorkommendes Gas. Man analysiert den Unterschied zwischen CO₂- und Referenzkanal und kann somit eine Reihe von Effekten kompensieren. Ein Referenzkanal bedeutet zusätzliche Herstellkosten.

Die **relative** Messung (Marketing-Begriffe: *auto-/self-/field-calibration* bzw. *-correcting*, *ABC logic*, u. ä.) greift auf einen Trick zurück: in belüfteten Gebäuden sinkt der CO₂-Gehalt in der Nacht in Abwesenheit von Personen gewöhnlich auf das Niveau der Außenluft, also ca. 400 ppm. Relative Sensoren messen über einige Tage hinweg und bestimmen das Minimum aller Messungen. Anschließend wird das Minimum einfach auf 400 ppm normiert!

Vorteile der relativen Messung:

- Sollten die Sensoren in der Genauigkeit davondriften, so stellen sie sich regelmäßig wieder auf einen annähernd korrekten Wert ein.
- Die Sensoren können deutlich günstiger gebaut werden (nur ein Messkanal).
- Legt man einige Sensoren nebeneinander, so zeigen diese nach einigen Tagen keine Abweichung untereinander mehr an.
- Würden weltweit nur noch relative CO₂-Sensoren eingesetzt werden, dann spielt CO₂ per Definitionem keine Rolle mehr für den Klimawandel 😊.³

¹ Rauchmelder oder Feinstaubsensoren arbeiten im Vergleich mit streuenden Messverfahren.

² Kontaminationen, vor allem von Ammoniak (Landwirtschaft), wirken sich verheerend aus.

³ Etwas Vergleichbares hat man tatsächlich gemacht: seit 1983 gilt die Lichtgeschwindigkeit als Konstante. Nur weil es derzeit keine bekannte Möglichkeit gibt, eine möglicherweise variable Lichtgeschwindigkeit zu messen, sollte man nicht davon ausgehen, dass sie konstant ist. Ein meiner Meinung nach fataler Fehler.

Nachteile der relativen Messung:

- Es gibt Situationen, in denen immer mit Personen in der Umgebung des Sensors zu rechnen ist, zum Beispiel in einer Fertigung mit Schichtbetrieb.
- Es kommt vor, dass der Sensoren nicht regelmäßig Frischluft »sieht«. Beispiele: U-Bahn, Flugzeug, Fahrzeug in der Tiefgarage, etc.
- Oft wird ein Sensor im Standby abgeschaltet; dann gehen die Logging-Daten (meist im RAM) verloren und es kann keine Entscheidung über das Minimum getroffen werden.
- Auf lange Sicht gesehen ist nicht auszuschließen, dass es neben einem reinen *Offset*-Fehler auch zu einem *Gain*-Fehler kommt. Dieser kann nicht weggerechnet werden. Fehlerhafte Messungen sind dann schwer zu erkennen.

Druckabhängigkeit

Die vorgestellten Messprinzipien detektieren nicht direkt die CO₂-Konzentration (Anteil CO₂ an Gesamtluftgemisch), sondern Moleküldichte. Bei hohem Luftdruck befinden sich die Moleküle dichter vereint als bei niedrigem Luftdruck. CO₂-Sensoren zeigen bei hohem Luftdruck daher eine höhere CO₂-Konzentration an als tatsächlich. In erster Näherung und niedrigen Konzentrationen (bis ca. 10 000 ppm) kann man diese Fehlanzeige durch einen geeigneten Luftdrucksensor und das ideale Gasgesetz kompensieren.

Sonstige Eigenschaften

Vor allem bei Unterputzgeräten kann es vorkommen, dass es durch die Stromversorgung lokal zu erhöhten Temperaturen kommt. NDIR-Sensoren, basierend auf Thermopile oder Pyro als Detektor, können bei Temperaturgradienten sehr weit vom eigentlichen Messwert abweichen. Fotoakustische Sensoren wiederum sind anfällig auf Schall oder Vibrationen bestimmter Frequenzen. Darauf sollte bei der Auswahl Rücksicht genommen werden.

Wie gezeigt wurde sind bei der Auswahl eines geeigneten CO₂-Sensors verschiedene Eigenschaften zu beachten. Wir als MW technologies haben langjährige Erfahrung mit der Messung von CO₂ und beraten Sie gerne bei der Umsetzung Ihrer Messaufgabe.

Michael Weilguni

Co-Founder/CTO



sensors. simplified.

Copyright © 2024, MW technologies GmbH

