

AppliedSensor 

# Energieeinsparungen bei hervorragender Luftqualität



Intelligent air quality  
...beyond CO<sub>2</sub>





# Intelligent air quality

Täglich nehmen Erwachsene zwei bis drei Liter Flüssigkeit und ein bis zwei Kilogramm feste Nahrung zu sich. Während die Qualität unserer Nahrung höchsten Standards genügen muss, gilt dies nur bedingt für unsere Atemluft, obwohl wir täglich rund 15kg davon einatmen – **80% davon in geschlossenen Räumen.**

Vom Klassenzimmer bis zum Büroraum bedeutet gute Raumlufte deutlich mehr als nur den Erhalt unserer Gesundheit: Schüler in Schulen mit guter Luft zeigen bessere Leistungen, während der Lehrkörper weniger Krankheitstage verzeichnet. Arbeitgeberstudien haben gezeigt, dass verbesserte Umgebungsluft direkt mit der Produktivität und Zufriedenheit von Arbeitnehmern korreliert.

Daneben schafft die Einführung von so genannten „grünen Gebäuden“ und emissionsabhängigen Steuern ein Bewusstsein für Raumluftequalität und Energiekosten. Folglich werden sowohl Minimallüftung bei resultierender schlechter Luftqualität als auch Permanentlüftung bei hohen Lüftungskosten nicht länger akzeptiert. Das Ideal liegt dazwischen und heißt *Bedarfsgerechte Lüftung* (englisch: *Demand Controlled Ventilation = DCV*.)

Diese Broschüre befasst sich mit Luftqualitätssensoren zur *Bedarfsgerechten Lüftung* (DCV). Sie analysiert typische Raumlufteverschmutzungen, ihre Quellen sowie den Einfluss auf den Menschen. Darüber hinaus stellt sie gegenwärtige Raumluftequalitätsstandards aktuellen Lüftungsanforderungen gegenüber und vergleicht kommerziell erhältliche Luftqualitätssensoren anhand typischer Lüftungsanwendungen, zu denen am Ende Vorschläge zur *Bedarfsgerechten Lüftung* mit AppliedSensors *intelligent Air Quality* (iAQ) – Lösungen gemacht werden.

## Anatomie der Luft

Saubere Luft besteht aus 21% Sauerstoff, 78% Stickstoff und 1% Argon. Bei Innenraumluftebedingungen kommen Edelgase, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und *Mischgase*, so genannte *Volatile Organic Compounds* (VOCs) mit unterschiedlichen Anteilen hinzu. Zur Beurteilung der Raumluftequalität im Hinblick auf unsere Gesundheit, sind die beiden Letztgenannten die Wichtigsten: CO<sub>2</sub> aufgrund seiner historischen Bedeutung als Leitwert in der Lüftungsindustrie und VOCs aufgrund ihres Einflusses auf die Gesundheit und das menschliche Wohlbefinden.

# ...beyond CO<sub>2</sub>

## Die Bedeutung von VOCs und ihre Auswirkung auf die Innenraumluft

Es gibt ca. 5.000 bis 10.000 verschiedene VOCs, die in geschlossenen Räumen in weit höheren Konzentrationen auftreten können, als in der Außenluft. VOCs in Innenraumluft sind Kohlenwasserstoffverbindungen von zwei wesentlichen Quellen: Bio-Effluente (Ausdünstungen) aus menschlicher Atmung, Transpiration und Verdauung, sowie Ausdünstungen von Gebäudematerialien und Einrichtungsgegenständen. VOCs sind Verursacher von Augenreizungen, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Schwindelanfällen, welche unter dem Begriff SBS (*Sick Building Syndrome* = *Gebäudebedingtes Krankheitssyndrom*) zusammengefasst werden und eine adäquate, bedarfsgerechte Lüftung unumgänglich machen. Abgesehen von speziellen Industrieanforderungen und Komfortaspekten wie beispielsweise einer Temperaturregelung gilt: **VOCs sind der wichtigste Grund ein Gebäude zu lüften!** Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Innenraumschadstoffe und ihre Verursacher, wobei der Mensch die größte VOC-Quelle darstellt und somit den Lüftungsbedarf dominiert.

Raumlufte		Typische Substanz		Lüftung
Verursacher	Quelle	VOCs	Andere	
• Mensch	• Atem	Aceton, Ethanol, Isopren		bedarfsgerecht
		CO <sub>2</sub>		
		Feuchte		
	• Hautatmung & Transpiration	Nonanal, Decanal, α-Pinen		
		Feuchte		
	• Flatus	Methan, Wasserstoff		
	• Kosmetik	Limonen, Eucalyptol		
	• Haushaltsmaterialien	Alkohole, Ester, Limonen		
	• Verbrennung (Motoren, Öfen, Zigaretten)	Unverbrannte Kohlenwasserstoffe		
		Kohlenmonoxid		
CO <sub>2</sub>				
Feuchte				
• Gebäudematerialien • Möbel • Büroausrüstung • Consumerprodukte	• Farben, Lacke, Klebstoffe, Lösemittel, Teppiche	Formaldehyd, Alkane, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Siloxane		permanent, 5-10%
	• PVC	Toluol, Xylol, Decan		
	• Drucker/Kopierer, Computer	Benzol, Styrol, Phenol		

Tabelle 1 – Typische Raumlufteverschmutzer (VOCs und andere)

# Die Bedeutung von CO<sub>2</sub> und seine Auswirkung auf die Innenraumluft

Obwohl die menschliche CO<sub>2</sub>-Produktion historisch bedingt eine bedeutende Rolle in der modernen Lüftungstechnik spielt, hat CO<sub>2</sub>, insbesondere in niedrigen Konzentrationen nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf den Menschen: jahrzehntelange Erfahrungen mit Unterwasserfahrzeugen, sowie auf der ISS (International Space Station) durchgeführte Untersuchungen bestätigen, dass auch erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 1% (10.000ppm) keine nachhaltigen, negativen Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden haben. Aufgrund des Mangels an passender VOC-Sensorik dienen CO<sub>2</sub>-Sensoren in der Vergangenheit jedoch als adäquater Indikator für die Raumluftqualität, denn **die Menge an CO<sub>2</sub> ist proportional zur menschlichen Stoffwechselrate und annähernd proportional zur Gesamtmenge an VOCs** (Total VOCs = TVOCs), vorausgesetzt diese wurden durch menschliche Atmung, Transpiration und Verdauung produziert (Metabolische Regel/Metabolic Rule), wie Diagramm 1 zeigt.

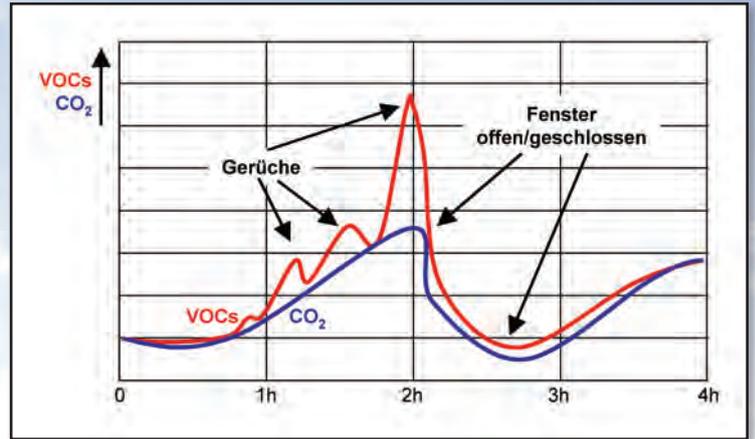


Diagramm 1 – CO<sub>2</sub> und VOCs aufgezeichnet während einer Besprechung

CO <sub>2</sub> [ppm]	Luftqualität
2100	<b>SCHLECHT</b> Stark verschmutzte Raumluft Lüftung erforderlich
2000	
1900	
1800	
1700	
1600	<b>MITTEL</b> Verschmutzte Raumluft Lüftung empfohlen
1500	
1400	
1300	
1200	
1100	<b>BEFRIEDIGEND</b>
1000	
900	
800	<b>GUT</b>
700	
600	
500	<b>HERVORRAGEND</b>
400	

Tabelle 2 – Klassifizierung der Raumluftqualität

Ein einziges Gas als Stellvertreter tausender VOCs verwenden zu können und die Verfügbarkeit verlässlicher Sensorik entwickelten CO<sub>2</sub> historisch zum Leitwert für Raumluftqualität. Somit haben die, von Max von Pettenkofer ursprünglich im 19. Jahrhundert eingeführten CO<sub>2</sub>-Qualitätsstufen (Tabelle 2) noch heute in vielen internationalen Lüftungsstandards Gültigkeit.

## Das Ereignisprofil von VOCs

Diagramm 1 illustriert mehr als nur den Zusammenhang zwischen VOCs und CO<sub>2</sub>. Wichtig ist zu bemerken, dass VOCs viel veränderlicher und punktueller in ihrem Auftreten sind als CO<sub>2</sub>. Eine plötzliche Zunahme der Bio-Effluente oder die vorübergehende Benutzung odorierter Materialien (Reiniger, Parfum, Zigarettenrauch) sind nichts Ungewöhnliches, sondern das typische Ereignisprofil von VOCs. Diagramm 1 enthält solche VOC-Ereignisse und zeigt, dass das ausschließliche Verlassen auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration als Lüftungsreferenz zu unbefriedigenden Ergebnissen führen kann, denn die **Raum-**

**lüftung soll umgehend und bedarfsgerecht auf alle Raumluftverschmutzungen reagieren, nicht allein auf CO<sub>2</sub>.** Dieses Verhalten stellt die wesentliche Schwäche der rein CO<sub>2</sub>-basierten Lüftung dar, denn nur die Berücksichtigung des gesamten Spektrums an Raumluftverschmutzungen sichert Energieeinsparungen bei optimaler Raumluftqualität.

## Bestimmung der Raumluftqualität – früher und heute

Wie oben beschrieben, gilt die CO<sub>2</sub>-Konzentration in Innenräumen, überwiegend gemessen mit Infrarottechnologie, als hinreichende Referenz zur Bestimmung der Raumluftqualität. Das Image so genannter VOC- oder Mischgassensoren litt früh unter der mangelnden Langzeitstabilität des Messprinzips (chemische Gassensoren) und des bis heute nicht existenten Signalstandards für VOCs, weshalb die Dimensionierung von Lüftungsanlagen auf Basis rückführbarer Normwerte nicht möglich ist: Planer können keine standardisierten Lüftungsschwellwerte anwenden; die Sensordrift macht das Gesamtsystem mittelfristig unberechenbar. Auch wenn der Ansatz zur Messung der tatsächlichen Ursache der Raumluftverschlechterung gut ist, ist dessen Umsetzung mit typischen VOC- oder Mischgassensoren leider nicht zielführend.

# AppliedSensors Philosophie – nahe an der menschlichen Wahrnehmung

In Ermangelung eines einheitlichen Industriestandards zur Bestimmung der VOC-Konzentration in der Raumluft, hat AppliedSensor die iAQ (intelligent Air Quality) -Serie entwickelt, die auf Basis der Umgekehrten Metabolischen Regel (Reversed Metabolic Rule = RMR) -Technologie arbeitet. AppliedSensors **RMR-Technologie führt die gemessenen VOC-Werte auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente in ppm-Einheiten zurück** und erreicht somit Kompatibilität zu existierenden CO<sub>2</sub>-Lüftungsstandards. Darüber hinaus erfasst AppliedSensors iAQ-Serie auch die, für CO<sub>2</sub>-Sensoren unsichtbaren VOC- bzw. Geruchsereignisse und gleicht damit den wesentlichen Nachteil der Luftgütebestimmung auf Basis von CO<sub>2</sub> aus, wie die Beispiele in Diagramm 2 demonstrieren. Zusätzlich korrigieren Steueralgorithmen Sensordrift und -alterung, um Signalkonsistenz über die gesamte Produktlebensdauer zu gewährleisten.

Fazit: **AppliedSensors iAQ-Serie kompensiert die Unzulänglichkeiten der CO<sub>2</sub>-basierten Luftqualitätsbestimmung durch Messung der tatsächlichen Ursache für den Lüftungsbedarf, den VOCs.** Des Weiteren gleicht die iAQ-Serie Nachteile herkömmlicher VOC-Sensortechnologien durch strikte Signalführung auf etablierte CO<sub>2</sub>-Standards und Driftkompensation für eine nachhaltige Sensorfunktionalität aus. **Die iAQ-Serie emuliert die menschliche Wahrnehmung von Luftqualität** und erfasst obendrein geruchlose, teilweise giftige Gase wie z.B. Kohlenmonoxid.

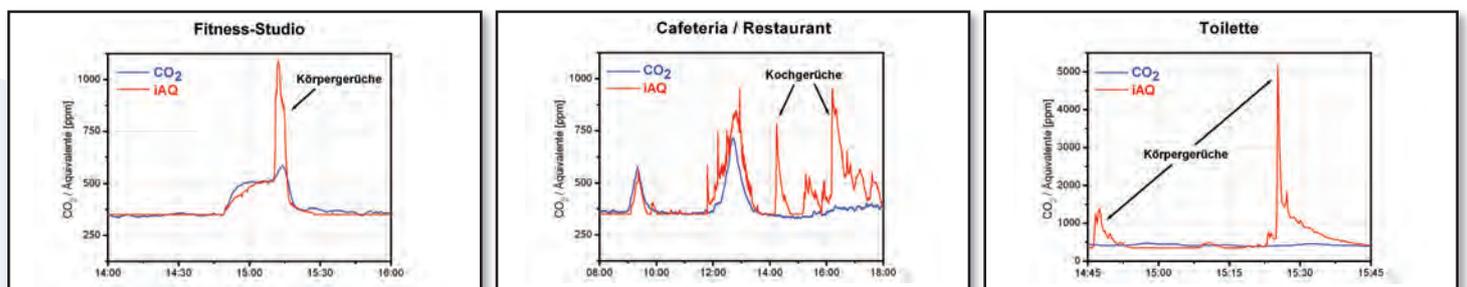


Diagramm 2 – Wenn CO<sub>2</sub>-Sensoren als DCV-Referenz versagen

## Was messen?

Der Markt bietet heute eine Vielzahl verschiedener Luftqualitätsmessprinzipien zur Steuerung von Lüftungsanlagen. Typische Repräsentanten sind Bewegungsmelder, CO<sub>2</sub>-, Feuchte- und iAQ-Sensoren. Tabelle 3 vergleicht die Leistungsfähigkeit der drei letztgenannten Technologien unter verschiedenen Anwendungsaspekten und stellt die Vorteile von AppliedSensors intelligent Air Quality-Technologie klar heraus.

Anwendung	KOMMERZIELLE GEBÄUDE					WOHNGBÄUDE			
	Büro	Besprechungsraum	Restaurant	Fitness Studio	Toilette	Küche	Wohnzimmer	Schlafzimmer	Bad
Hauptereignis(se)	Atem, Gerüche	Atem, Gerüche	Atem, Gerüche, Feuchte	Atem, Gerüche	Gerüche	Gerüche, Feuchte	Atem, Gerüche	Atem, Gerüche	Feuchte
Feuchte-Sensor	-	-	O	-	-	O	-	O	++
CO <sub>2</sub> Sensor	+	+	+	O	-	-	+	+	-
iAQ Sensor	++	++	++	++	++	++	++	++	O

Tabelle 3 – Leistungsfähigkeit verschiedener Luftqualitätssensoren bei unterschiedlichen Lüftungsszenarios

## Wann und wie lüften?

Die Antwort ist: **bei Bedarf**. Die meisten VOC-Ereignisse sind unvorhersehbar in ihrem Auftreten, da sie vom menschlichen Stoffwechsel und Verhalten bestimmt werden. Dies gilt für etwa 85% aller Raumluftbeeinträchtigungen; die restlichen 15% sind Emissionen von Gebäudematerialien, insbesondere verursacht durch neue bzw. frisch renovierte Gebäude, Einrichtungsgegenstände und Beschichtungen. Diese lassen sich durch eine niedrige, permanente Lüftungsrate von ca. 5 - 10% der empfohlenen, maximalen Raumlüftungsrate hinreichend eliminieren.

Tabelle 1 zeigt typische Repräsentanten für die beiden, hier beschriebenen Fälle und empfiehlt das jeweils passende Lüftungsszenario. Allgemein gilt jedoch: **VOC-Ereignisse treten selten isoliert auf, weshalb eine optimale Lüftung erst durch Kombination der beiden, hier dargestellten Szenarios erreicht wird.**

# Energieeinsparungen durch bedarfsgerechte Lüftung (DCV)

Es gibt viele Wege, Energieeinsparungen mit Lüftung zu erzielen. Lüftungsanlagen können permanent, mit konstantem Luftvolumen (CAV), statistisch, mit variablem Luftvolumen (VAV) und bedarfsgerecht (DCV) betrieben werden. Für die bedarfsgerechte Lüftung wiederum kann aus einer Vielzahl von Steuergrößen (Bewegung, CO<sub>2</sub>, VOC und Feuchte) gewählt bzw. kombiniert werden.

In einem Fitnessstudio konnte die Betriebszeit der timergesteuerten Lüftungsanlage durch den Einsatz eines iAQ-Sensors um 24% gesenkt werden. Dies entspricht einer Einsparung von ca. 60% der Energiekosten. Zudem hatte sich die Luftqualität laut einer Befragung der Studiobesucher sogar deutlich verbessert.

## **Bedarfsgerechte Lüftung mit AppliedSensors iAQ-Technologie bedeutet hervorragende Luftqualität bei minimalen Kosten.**

*“To verify the overall performance of one of our decentralized ventilation systems with the integrated AppliedSensor indoor air quality module, designed to meet the demand for controlled ventilation, an independent institute has been employed. As expected, the module demonstrated sound correlation to CO<sub>2</sub> and even responded to emissions from furniture and office materials. We are very satisfied with its performance and additional benefits in terms of comfort and improved air quality.”*

—Dirk Scherder, Manager FSL/Air-Water-Systems, TROX GmbH, Germany

*“Besides the small module size, it is the mixed gas plus the CO<sub>2</sub> equivalent signal that offer a significant cost benefit for us and our customers.”*

— Walter Goetschi, Managing Director, Sensortec GmbH, Switzerland  
über AppliedSensors iAQ-100

*“AppliedSensor’s indoor air quality module enables us to provide unrivaled, cost-efficient HVAC sensing and control solutions, thereby developing new markets in ventilation control.”*

— Dipl.-Ing. Wolfgang Schmitt, International Sales, MSR Electronic GmbH, Germany

*“We compared the fan speeds of our air handling unit alternately controlled by an occupancy sensor and AppliedSensor’s indoor air quality sensor. The indoor air quality sensor reduced the operating time by 24 percent.”*

— Erik Edvardsson, Development Engineer, Swegon AB, Sweden

*“A good correlation to CO<sub>2</sub> sensors was observed (...).”*

— Dr. Mari-Liis Maripuu, Chalmers University of Technology, Sweden

Schlussfolgerung einer Untersuchung zu funktionalen Anforderungen an Systeme und Komponenten für die bedarfsgerechte Lüftung von kommerziellen Gebäuden in der AppliedSensors iAQ-100 untersucht wurde.

# Typische iAQ-Anwendungen

Mit der iAQ-Serie gibt es viele Möglichkeiten, die Luftqualität bei Senkung der Energiekosten zu verbessern. Einige Beispiele sind nachfolgend dargestellt.

## Kommerzielles/Wohngebäude



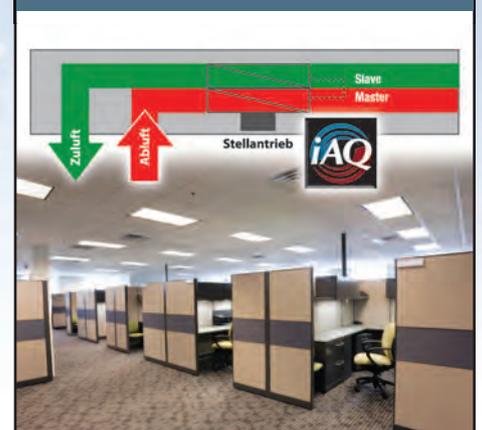
iAQ-integrierter Wandsensor/-regler zur Steuerung einer zentralen Lüftungsanlage o. in Verbindung mit einem Building Automation System (BAS)

## Kommerzielles Gebäude



iAQ-integrierter Abluftkanal zur Steuerung einer zentralen Lüftungsanlage o. in Verbindung mit einem Building Automation System (BAS)

## Kommerzielles Gebäude



iAQ-integrierter Abluftstellantrieb in Master/Slave-Schaltung mit Zuluftstellantrieb

## Kommerzielles/Wohngebäude



iAQ-integriertes dezentrales Lüftungssystem

## Kommerzielles/Wohngebäude



iAQ-integrierter Bad/Toilettenlüfter

## Schulen



iAQ-integriertes Lüftungssystem (AHU)

## Kommerzielles/Wohngebäude



iAQ-integrierter Wandsensor/-regler zur automatischen Fensterlüftung

## Wohngebäude/Consumeranwendung



iAQ-integrierte Luftqualitätsampel zur manuellen Lüftung

## Wohngebäude/Consumeranwendung



iAQ-integrierte Luftreiniger



[www.appliedsensor.com](http://www.appliedsensor.com)  
Email: [info@appliedsensor.com](mailto:info@appliedsensor.com)

AppliedSensor GmbH  
Gerhard-Kindler-Str. 8  
72770 Reutlingen, Germany  
Tel: +49 7121 51486 0  
Fax: +49 7121 51486 29