



Indoor Air Quality

Komplexes Zusammenwirken gesundheitsbeeinflussender Raumluftparameter

Teil 2



Die Innenraumlufthqualität (IAQ: Indoor Air Quality) spielt eine äußerst wichtige Rolle für das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen. Das wird verständlich, wenn man sich bewusst macht, dass die Luft in Innenräumen von Gebäuden bis zu 8-mal stärker verschmutzt ist als die Außenluft. Hinzu kommt, dass die Mehrheit der modernen Menschen sich deutlich länger im Inneren von Gebäuden, in Büros, Werkhallen, Wohnungen usw. aufhält als im Außenbereich. Aber auch die dort vorzufindende „frische Luft“ verdient dieses Prädikat oft nicht. Mit zunehmender Häufigkeit übersteigen besonders in den verkehrsreichen Innenstädten Feinstaub- und Stickstoffdioxidwerte die amtlichen Grenzwerte. In der Regel jedoch hat die IAQ die stärkeren Auswirkungen auf die Gesundheit. Weil für eine hohe IAQ das Zusammenwirken zahlreicher Faktoren eine Rolle spielt, ist deren Erfassung und Umsetzung in charakterisierende Kenngrößen notwendig.



Weitere IAQ-beeinflussende Größen

Wie im ersten Teil dieses Artikels bereits gesagt, ist eine gute Raumluft nach dem alleinigen Kriterium einer geringen VOC-Beladung bzw. CO₂-Konzentration kein Garant für Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Nutzers. Vielmehr muss das gesamte Innenraumklima stimmen. Dieser komplexe Begriff umfasst erheblich mehr Einflussfaktoren aus den Bereichen Gesundheit (Feinstaub, Pollen, Bakterien, Schimmel, Schallschutz ...) und Komfort (Temperatur, Feuchte, Luftbewegung, Wandtemperatur, Art der Heizung ...).

Feinstaub

Schwebstaub im Allgemeinen ist eine Sammelbezeichnung für alle festen Teilchen in der Luft. Dies können sein: feinstverteilte Teilchen als Ruß aus unvollständigen Verbrennungsprozessen, Staub aus mechanischen Prozessen und Rauch aus chemischen oder thermischen Prozessen [3].

Die heute gültige Definition des Feinstaubes beruht auf dem PM-Standard (PM: Particulate Matter) der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde EPA (Environmental Protection Agency). Die Feinstaubkategorie PM₁₀ umfasst Teilchengrößen mit einem aerodynamischen Durchmesser zwischen 2,5 und 10 µm (inhalierbarer Staub), PM_{2,5} ist die Kategorie für Partikeldurchmesser < 2,5 µm (lungengängiger Staub), und als ultrafeine Partikel wird die Staubfraktion mit Partikeldurchmessern < 0,1 µm bezeichnet. Es sind besonders die kleinen und kleinsten Staubpartikel,

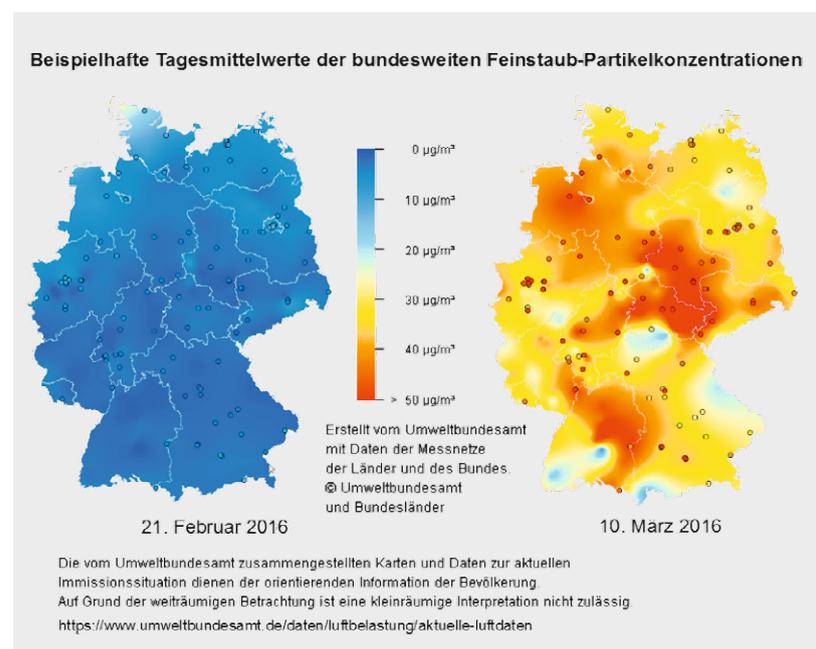


Bild 14: Für die Feinstaubkonzentration in der Außenluft spielt die Wetterlage eine wichtige Rolle.

Feinstaubrichtwerte der WHO und der EU

Partikelklasse	24-h-Mittelwert	Jahresmittelwert	Organisation
PM ₁₀	50	20	WHO (2005)
PM ₁₀	50 (maximal 35 Überschreitungen im Jahr)	40	EU (2005)
PM _{2,5}	25	10	WHO (2005)

WHO: World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation), EU: Europäische Union

Bild 15: Feinstäube der Klasse PM_{2,5} sind besonders gefährlich für den menschlichen Organismus. Deshalb sind die WHO-Grenzwerte besonders niedrig.

Leitwerte für Kohlendioxid in der Innenraumluft (2008)

Stufe	Konzentrationsbereich [ppm CO ₂]	Hygienische Bewertung
1	< 1000 ppm CO ₂	Hygienisch unbedenklich
2	1000 – 2000 ppm CO ₂	Hygienisch auffällig
3	> 2000 ppm CO ₂	Hygienisch inakzeptabel

Leitwerte für TVOC in der Innenraumluft (2007)

Stufe	Konzentrationsbereich [mg TVOC/m ³]	Hygienische Bewertung
1	< 0,3 mg/m ³	Hygienisch unbedenklich
2	> 0,3 – 1 mg/m ³	Hygienisch unbedenklich, sofern keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen
3	> 1 – 3 mg/m ³	Hygienisch auffällig
4	> 3 – 10 mg/m ³	Hygienisch bedenklich
5	> 10 mg/m ³	Hygienisch inakzeptabel

Leitwerte für Feinstaub in der Innenraumluft (2008)

Konzentration: 25 µg PM _{2,5} /m ³	Der 24-Stunden-Mittelwert gilt nur in reinen Wohnräumen in Abwesenheit innenraumspezifischer Staubquellen
--	---

Bild 16: Diese Leitwerte für CO₂, TVOC und Feinstaub hat das Bundesumweltamt festgelegt.

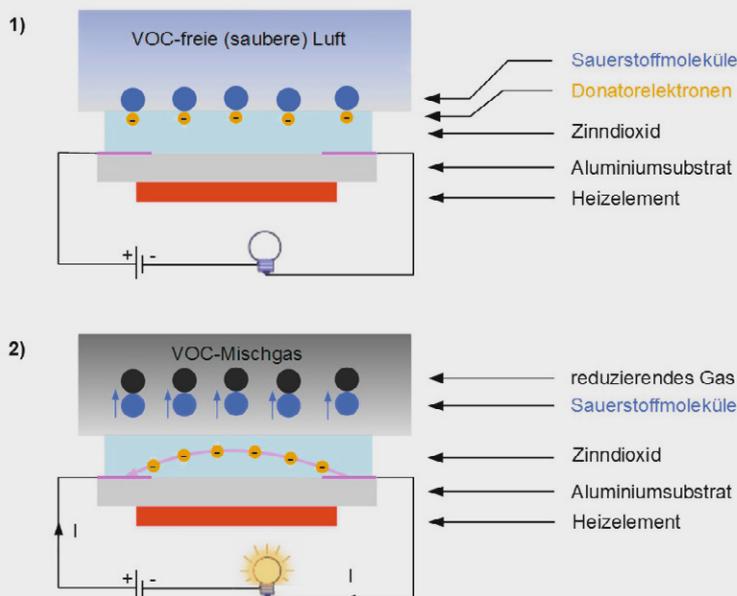


Bild 17: Die VOC-Bestandteile der an einen aufgeheizten Zinndioxidfilm angrenzenden Luft beeinflussen dessen Leitfähigkeit.

die für den Menschen gefährlich werden können, denn sie werden nicht von den Nasenhaaren und den Schleimhäuten der Nase und des Rachens zurückgehalten, sondern dringen tief in die Lunge ein. Ultrafeine Partikel können sogar die Luft-/Blutbarriere überwinden und sich über die Blutbahn bis in die Organe ausbreiten.

Feinstaub im Außenbereich tritt besonders in Ballungszentren als Folge eines dichten Verkehrs mit Verbrennungsmotorfahrzeugen auf, insbesondere bei Inversionswetterlagen. Hinzu kommt zunehmend der Feinstaub aus den Schornsteinen von mit Holz befeuerten Kaminöfen. Innerhalb von Wohnräumen können beim Öffnen der Tür eines qualmenden Ofens erhebliche Feinstaubmengen in die Raumluft gelangen. Deshalb spielen ein guter Kaminzug, gut getrocknetes Holz und eine korrekte Befüllung des Ofens eine wesentliche Rolle für eine feinstaubarme Verbrennung.

Den Einfluss des Wetters auf die großflächige Feinstaub-Partikelkonzentration zeigen 2 Heatmaps der Bundesrepublik vom 21. Februar 2016 und vom 10. März 2016 in Bild 14.

Die Richtwerte der WHO und der EU für die Feinstaubklassen PM₁₀ und PM_{2,5} sind in Bild 15 zusammengestellt.

In Schulen hat das Fraunhofer-Institut 2009 durch umfangreiche Feinstaubmessungen ermittelt [4], dass der PM₁₀-Staub von den Schülern eingetragen wird, im Lauf des Unterrichts ansteigt und durch Lüften verringert werden kann. Die PM_{2,5}-Konzentration hingegen unterscheidet sich nicht von den Außenwerten und wird durch Stoß- und Kipplüften eingetragen.

Das Bundesumweltamt hat die in Bild 16 gezeigten Leitwerte für Kohlendioxid (CO₂), den Gesamtwert der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC: Total Volatile Organic Compound) und Feinstaub (PM_{2,5}) festgelegt [5].

Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Dies sind die vergleichsweise am einfachsten zu ermittelnden Qualitätsparameter der Innenraumluft. Für Wohnräume wird eine Temperaturspanne von 19 bis 21 °C bei einer relativen Luftfeuchte von 40 bis 60 % rF empfohlen. Bei abnehmender Luftfeuchtigkeit unter 40 % rF besteht ein zunehmendes Gesundheitsrisiko, weil die Nasen- und Rachenschleimhäute austrocknen, ihre Barrierewirkung einbüßen und Bakterien in den Körper eindringen können. Hohe relative Luftfeuchtigkeit (größer 80 %), besonders wenn sie bei niedrigen Raumtemperaturen (10 bis 15 °C) auftritt, ist die Voraussetzung für die Bildung gesundheitsgefährdenden Schimmels.

VOC-Sensoren

Die selektive Erfassung einer spezifischen flüchtigen organischen Verbindung ist schwierig. Ideal wäre es, zwischen Hunderten von VOCs und ihren Konzentrationen unterscheiden zu können, was die gegenwärtig verfügbaren Sensoren aber nicht leisten.

MOS-Sensoren

Heute werden überwiegend Sensoren eingesetzt, die auf der Metalloxid-Halbleiter-Technologie (MOS: Me-

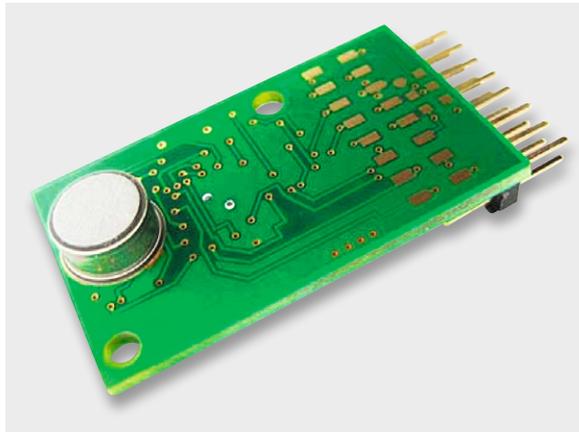


Bild 18: Der VOC-Sensor iAQ-200 von AppliedSensor hat einen Durchmesser von 8 mm. Das Probegas tritt durch das Vlies auf der Vorderseite ein.

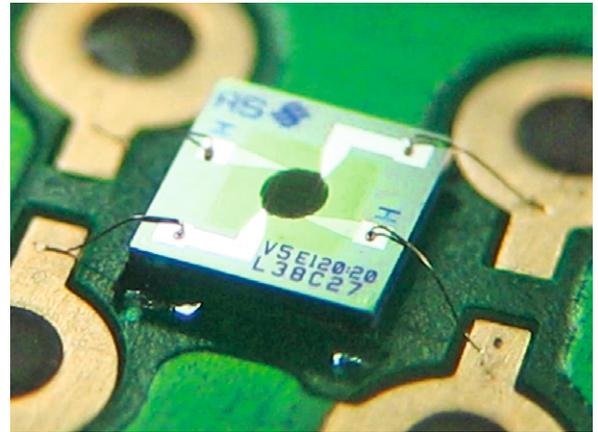


Bild 19: Das Foto eines iAQ-2000-Chips. 2 der angebotenen Drähte dienen der Signalleitung, die beiden anderen der Heizstromzuführung.

tal Oxide Semiconductor) beruhen. Sie sind kompakt, preisgünstig und reaktionsschnell, aber feuchtigkeitsempfindlich, nichtlinear und mit einer Langzeitdrift behaftet. Ein MOS-Sensor gibt ein Summensignal ab, welches alle im Mischgas enthaltenen VOCs widerspiegelt. Aus dem Summensignal wird per Algorithmus ein Luftgütwert in CO₂-Äquivalenten ermittelt, d. h., der Luftgütesensor korreliert die VOC-Werte direkt mit dem (errechneten) CO₂. So wird die Bestimmung der Einzelgase und ihrer Konzentration nicht notwendig.

Das Funktionsprinzip eines solchen Sensorchips beruht auf der Änderung des Widerstands eines halbleitenden nanokristallinen Metalloxidfilms (typisch Zinndioxid SnO₂) als Sensormaterial bei erhöhten Temperaturen (typ. um 200 °C). Folgende Vorgänge laufen in vereinfachter Form ab:

1. In sauberer Luft ohne VOC-Anteile werden die Donatorelektronen im Sensormaterial von Sauerstoffmolekülen, die sich an seiner Oberfläche anlagern, gebunden. Es entsteht eine Verarmungsschicht, die Leitfähigkeit nimmt ab und es fließt wenig oder kein Strom (Bild 17 oben).
2. In Anwesenheit des reduzierenden VOC-Gases nimmt die Oberflächendichte des angelagerten Sauerstoffs ab, da er mit dem reduzierenden Gas reagiert. Die Elektronen werden wieder an das Zinndioxid freigegeben, wodurch sie sich unter dem Einfluss des Feldes zwischen den Sensorelektroden bewegen können – ein Strom fließt (Bild 17 unten).

Bild 18 zeigt als Beispiel den Metalloxid-Halbleitersensor iAQ-2000 des Herstellers AppliedSensor. In der zylindrischen, an der Oberseite durch ein Filtervlies verschlossenen Kapsel befindet sich ein als MEMS (Micro Electro Mechanical System) ausgeführter 2 x 2 mm großer Chip (Bild 19). Man erkennt die 4 Anschlüsse – 2 für die die Kontaktierung der Sensorschicht und 2 für die Versorgung des Heizelements mit Strom.

Weil das zu erhaltende Sensormaterial eine äußerst geringe Masse hat, ist es mit wenigen Milliwatt elektrischer Leistung auf die gewünschte Reaktions-temperatur aufzuheizen.

Der Sensor detektiert eine Vielzahl von Substanzen:

- Kohlenmonoxid (CO), Methan (CH₄), Propan (LPG: Liquid Petroleum Gas)
- Alkohole
- Aldehyde
- Aliphatische Kohlenwasserstoffe
- Aromatische Kohlenwasserstoffe
- Amine
- Ketone
- Organische Säuren

Die gemessenen Konzentrationen dieser Stoffe werden in ein summarisches CO₂-Äquivalent zwischen 350 und 2000 ppm umgerechnet. Beim Überschreiten vorgegebener Luftqualitätslevel für ein bestimmtes Gas gibt der Sensor ein Alarmsignal an die Klimaanlage ab, um die Lüftung zu verstärken. Manche Sensoren rechnen den VOC-Wert gleich in sein CO₂-Äquivalent in ppm um und geben ihn nicht in ppb (Parts per Billion = Teile pro Milliarde) aus.

PID-Sensoren

Photo Ionization Detectors (PIDs; Photoionisationsdetektoren) verwenden hochenergetische Photonen im ultravioletten Spektralbereich, um die VOC-Moleküle unter Freisetzung eines Elektrons in positiv geladene Ionen aufzubrechen (Bild 20). Die freien, negativ geladenen Elektronen wandern zur Anode, die positiv geladenen VOC-Ionen werden von der Kathode angezogen. Daraus resultiert ein Strom, der als Ausgangssignal dient. Die Stärke des Stroms ist direkt proportional zur Zahl der er-

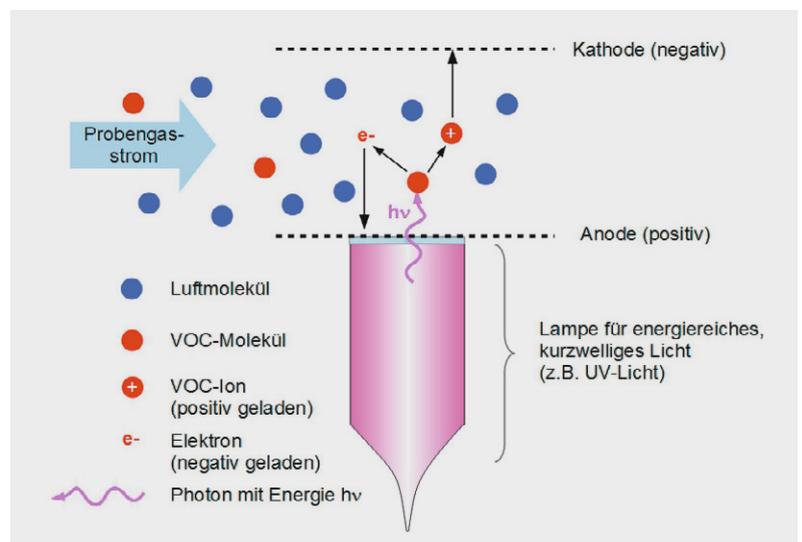


Bild 20: Die VOC-Moleküle in mit energiereichem Licht bestrahltem Probegas werden ionisiert.

zeugten Ionen, die wiederum von der Konzentration der gemessenen Gaskomponente abhängt.

Weil ein PID alle Verbindungen ionisiert, deren Ionisationspotential unter der Photonenenergie liegt, ist bei PIDs keine Selektivität (spezifische Empfindlichkeit für eine spezielle Gaskomponente) gegeben. PIDs weisen eine ausgezeichnete Empfindlichkeit auf, haben einen großen Dynamikbereich und erlauben die Messung von schwachen VOC-Konzentrationen im niedrigen ppb-Bereich vor einem Hintergrund höher konzentrierter anorganischer Gase. Wer an diesem Detektortyp näher interessiert ist, findet im PID-Handbook der Firma RAE Systems eine umfassende Informationsquelle [6].

Die Photonenquelle ist typischerweise eine Gasentladungslampe. Zum Einsatz kommen die Edelgase Krypton (Photonenenergie 10,6 eV), Xenon (Photonenenergie 9,6 eV) und Argon (Photonenenergie 11,7 eV). Die Auswahl der Lampe hängt vom zu untersuchenden Probengas ab. Die Kryptonlampe ist ein guter Kompromiss zwischen breitbandiger Empfindlichkeit und langer Lebensdauer. Es ist bemerkenswert, dass die VOC-Ionen nach ihrer Rekombination wieder das Ausgangsgas bilden. Der PID-Sensor ändert im Gegensatz zum MOS-Sensor das Probengas nicht dauerhaft.

PM-Sensoren

Unter Particulate Matter (PM) versteht man Feinstaub verschiedensten Ursprungs, der als Schwebstoff so lange in der Luft verweilt, bis er langsam abgesunken ist. Er kann aus den unterschiedlichsten Quellen herrühren (Pilzsporen, Pollen, Milbenkot, Vulkanausbrüche, Öfen, Straßenverkehr, Verbrennungsmotoren, Kraftwerke, Tierhaltung usw.).

In herkömmlichen photoelektrischen Staubsensoren diffundiert die mit Staub beladene Luftprobe in die Detektorkammer (Bild 21). Dort wird das Licht einer internen Lichtquelle (meist einer LED) auf die Gasprobe gestrahlt. Eine ebenfalls in der Messkammer befindliche Fotodiode ist ebenfalls auf die Gasprobe ausgerichtet. Das Umfeld des Schnittpunkts der optischen Achsen von LED und Fotodiode wird auch als „Region of Interest“ (ROI; interessierendes Gebiet) bezeichnet. Das Design der Kammer stellt sicher, dass die Fotodiode weder direkt noch indirekt durch Reflexionen an den Kammerwänden beleuchtet wird. Befinden sich Staubpartikel in der ROI, streuen diese auch Licht in Richtung der Fotodiode. Die Menge dieses Lichts führt zu einem proportionalen Ausgangssignal der Fotodiode und hängt vom Reflexionsverhalten der Partikel und ihrer Dichte in der ROI ab.

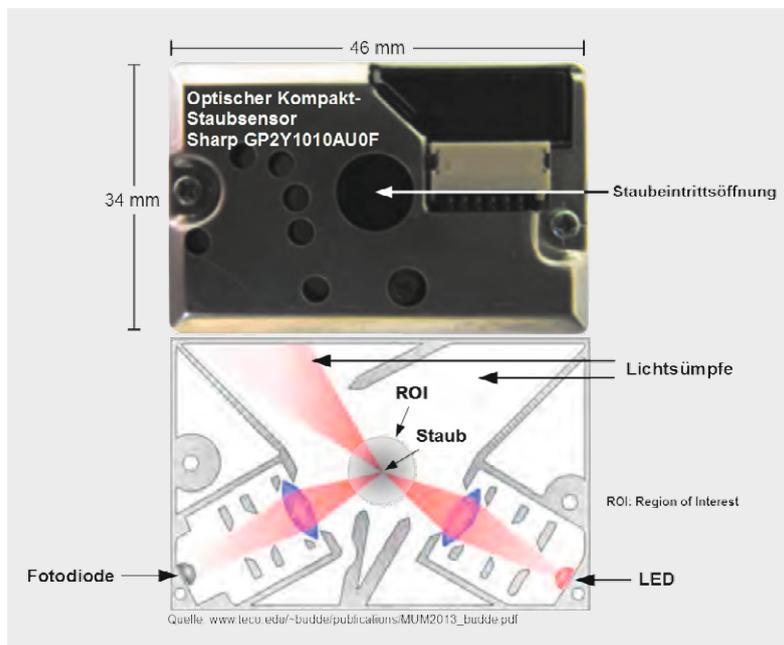


Bild 21: Staub in der „Region of Interest“ führt zu Streulicht, das von einer Empfangsdiode detektiert wird.

Andere Sensoren

Die weiteren Verfahren werden nur genannt, ohne auf ihre Funktionsweise einzugehen, weil ihre Bedeutung sich meist auf das Labor beschränkt und sie nicht für Echtzeitmessungen in portablen Messgeräten zum Einsatz kommen. Kolorimetrische Röhren, Flammenionisationsdetektoren (FIDs), Tedlar Sampling Bags (zur nachträglichen Analyse von genommenen Proben), Gaschromatografen mit gekoppelten Massenspektrometern (GC/MS). Letztere spielen möglicherweise durch die Fortschritte auf dem Gebiet der mikromechanischen Systeme in Zukunft auch im Feld eine Rolle.

Gerätebeispiele

Auf dem Markt sind zahlreiche Indikatoren für die Innenraumluftqualität auf der Grundlage von MOS-Sensoren. Preiswerte Geräte sind ab 25 € erhältlich, bei gesteigerten Ansprüchen an die Vielzahl der Messparameter und die Messgenauigkeit muss man mit mehreren hundert Euro rechnen.

Technoline WL 1000

Am unteren Ende der Preisskala ist der Luftgütemonitor WL 1000 von Technoline angesiedelt (Bild 22). Er ist bei ELV unter Artikel-Nr. CH-112954 für 24,95 € erhältlich. Trotz des günstigen Preises ist der gebotene Leistungsumfang beachtlich. Neben einer DCF77-Funkuhr mit Weckalarmfunktion sind ein Thermometer, ein Hygrometer und der MOS-Luftgütesensor integriert. Dessen Messergebnis wird geräteintern in ein CO₂-Äquivalent umgerechnet, das auf dem hintergrundbeleuchteten LC-Display in 50-ppm-Schritten zur Anzeige gebracht wird. Ein Qualitätsindikator, bestehend aus einer horizontalen auf das Gehäuse aufgedruckten Skala und einem Zeiger im Display, erlaubt die spontane Bewertung der IAQ. Bei Überschreitung eines Grenzwerts wird akustisch und optisch gewarnt.

Foobot – ein lernfähiges, webbasiertes, universelles IAQ-Überwachungssystem

Es wurde bereits gesagt, dass für Gesundheit und Wohlbefinden der Bewohner eines Hauses oder einer Wohnung eine Vielzahl von Einflussparametern auf die IAQ verantwortlich ist. Dabei bringt es wenig, nur beim Überschreiten von Spitzenwerten Alarm auszulösen, um Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Besser ist es, die wichtigsten Parameter dauerhaft zu überwachen (7 Tage die Woche, 24 h am Tag), sie aufzuzeichnen und aus ihrem Verlauf zu lernen, um daraus an die Besonderheiten des Messorts angepasste Empfehlungen für die Verbesserung der Luftqualität abzuleiten.

Ein Beispiel soll das verdeutlichen: Ein herkömmlicher VOC-Indikator würde gar keinen Alarm auslösen, wenn die von ihm gemessene VOC-Konzentration tagelang nur leicht unter dem Grenzwert läge. Dagegen würde er sofort bei einer kurzfristigen Überschreitung aktiv. Die erstgenannte Dauerexposition nahe am Grenzwert ist für den Menschen sicher bedenklicher als eine kurzfristige Überschreitung durch einen Spitzenwert. Dieser könnte beispielsweise dadurch entstanden sein, dass der Frau des Hauses die Nagel-



lackflasche aus den Fingern gerutscht ist, wodurch natürlich die VOC-Konzentration bis zum Lüften und Reinigen in die Höhe geschneit ist. Ein derartiges einmaliges Missgeschick hat natürlich keine statistische Relevanz bei der Ermittlung eines auf langfristigen Beobachtungen beruhenden Belastungsindex der Wohnumgebung und sollte aus der Messreihe entfernt werden.

Eben das und noch viel mehr leistet Foobot, eine mit Sensoren gespickte Messstation (Bild 23), die über das häusliche WLAN mit dem Internet verbunden ist (foobot.io). Das „Internet of Things“ lässt grüßen!

Der Anwender kommuniziert mit Foobot über eine App auf seinem Smartphone (Apple iOS oder Android). Auf dem Foobot-Cloudserver werden die Messdatenreihen gespeichert und bewertet. Der Besitzer des Foobots wird befragt, welche Erklärung es für ein ungewöhnliches Ereignis bei der Raumluftbelastung geben kann, um dieses bei der Erstellung eines globalen IAQ-Indexes (Global Indoor Air Index = gewichteter Durchschnitt aus VOC, CO₂ und PM) korrekt berücksichtigen zu können.

Farbe und Größe der seitlichen Abstrahlungen des Foobot signalisieren dem Betrachter direkt den IAQ-Zustand auf einen Blick auch ohne Zuhilfenahme eines Smartphones und der Foobot-App (Bild 24). Eine schnelle Information über die wichtigsten aktuellen Messwerte erhält man, ohne die App öffnen zu müssen, durch kurzes Klopfen an den Foobot, das dieser mit einem violettfarbigem Blinken quittiert und zugleich die Daten per Message an das Smartphone mit der Foobot-App schickt (Bild 25). Sie erscheinen auf dem Bildschirm, begleitet von einem Hinweisen, auch ohne dass das Smartphone entsperrt ist.

Die Tabelle in Bild 26 fasst die wichtigsten technischen Daten von Foobot zusammen. Man sieht, dass neben Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Feinstaub die Gesamtheit der festgestellten flüchtigen organischen Verbindungen einschließlich Kohlenmonoxid (TVOC) und daraus abgeleitet ein CO₂-Äquivalenzwert erfasst werden.

Die Inbetriebnahme von Foobot ist denkbar einfach. Mit dem heimischen WLAN verbinden und einen Foobot-Web-Account einrichten – fertig. Ab jetzt überwacht Foobot die Qualität der Innenluft und versorgt seinen Besitzer mit exakten, auf sein Lebensumfeld zugeschnittenen Informationen.

Ratschläge, wie sich die Raumlufterneuerung optimieren lässt, wie Schadstoffquellen zu erkennen und zu eliminieren sind, wie man durch eine Änderung seines Verhaltens Luftverschmutzungen in Zukunft vermeiden kann, sowie vom Verschmutzungsgrad der Raumluft abhängende Warnmeldungen versendet Foobot erst ab dem siebten Tag nach Inbetriebnahme. Dann hat sich der VOC-Sensor an seinem Aufstellungsort ausreichend stabilisiert, um genügend genaue Werte zu liefern. Genauer gesagt, ermittelt er in diesem Zeitintervall den niedrigsten VOC-Wert, den er dann mit der kleinstmöglichen CO₂-Konzentration von 400 ppm gleichsetzt. Damit der Foobot sich einen besseren Überblick von der Verschmutzungssituation machen kann, befragt er seinen Nutzer im Bedarfsfall nach dem Grund für das Eintreten eines Verschmutzungsereignisses (Bild 27).

Einige charakteristische Foobot-App-Screens zeigt Bild 28. Bei genauerer Betrachtung der Werte für VOCs und CO₂ fällt auf, dass sie sich um den Faktor 3,6 unterscheiden. Der orangefarbene Screen zeigt den CO₂-Verlauf der letzten 5 min. Die Aufzeichnung beginnt mit dem Querstellen des Smartphones oder Pads.

Es würde an dieser Stelle den Rahmen sprengen, Foobot umfassend beschreiben zu wollen. Der innovative Ansatz einer Integration von Sensorik, Cloudserver, Smartphone, Maschinenlernen und Interaktion mit dem Anwender begeistert jedoch.

Zusammenfassung

Einen umfassenden Eindruck von der Innenraumluftqualität (IAQ) erhält man erst nach Erfassung der sie beeinflussenden Parameter und der Bewertung ihrer komplexen Einflüsse auf die menschliche Gesundheit.



Bild 22: Klein, aber oho! Der Luftgütemonitor WL 1000 von Technoline bietet allerhand für wenig Geld. (Best-Nr.: CI-11 29 54)



Bild 23: Die Bestandteile eines Foobot-Systems sind der Foobot, ein Smartphone und ein WLAN-Zugang zum Foobot-Server in der Cloud.



Bild 24: Länge und Farbe der Lichtbalken geben eine schnelle Auskunft über die Luftqualität.



Bild 25: Klopft man an den Foobot, sendet er sofort die aktuellen Messwerte an das Smartphone.



Die CO₂-Konzentration als alleiniges Lüftungskriterium heranzuziehen greift zu kurz. Auf jeden Fall sind mindestens flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und Feinstäube für eine sachgerechte Qualifizierung mit heranzuziehen.

IAQ ist das wichtigste Umweltrisiko für die allgemeine Gesundheit. Gemäß der Weltgesundheitsorganisation haben weltweit hunderte Millionen Menschen die Atmung betreffende gesundheitliche Probleme. 1,6 Millionen Chinesen sterben jährlich an den unmittelbaren Folgen der Luftverschmutzung. Als gefährlichster Schadstoff gilt Feinstaub mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 µm Durchmesser (PM_{2,5}), der tief in die Lunge eindringen und Herzinfarkte, Schlaganfälle, Lungenkrebs, Asthma und COPD (chronic obstructive pulmonary disease) auslösen kann. Eine Verbesserung der IAQ würde unser aller Lebensqualität verbessern und den Volkswirtschaften jährlich enorme Kosten ersparen. Eine problemgerechte Sensorik, intelligente und lernfähige Diagnostik und nicht zuletzt schadstoffarme Wohnumgebungen mit ausgefeilter Raumluftauftausch- und -reinigungstechnik wären der richtige Weg zur Problemlösung.

Wenn allerdings wie im Dezember 2013 ein PM_{2,5}-Wert von 480 µg/m³ (knapp das 10fache des Grenzwerts von 50 µg/m³) in Peking gemessen wurde [7], dann ist es um die IAQ nahezu hoffnungslos bestellt (Bild 29).

ELV

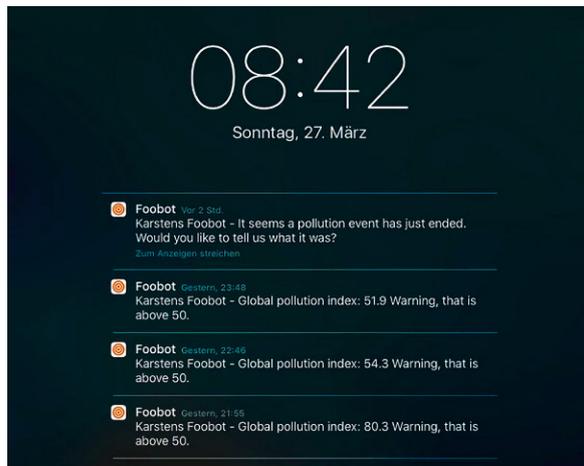


Bild 27: So kommuniziert der Foobot-Cloudserver im Ereignisfall mit dem Foobot-Besitzer.

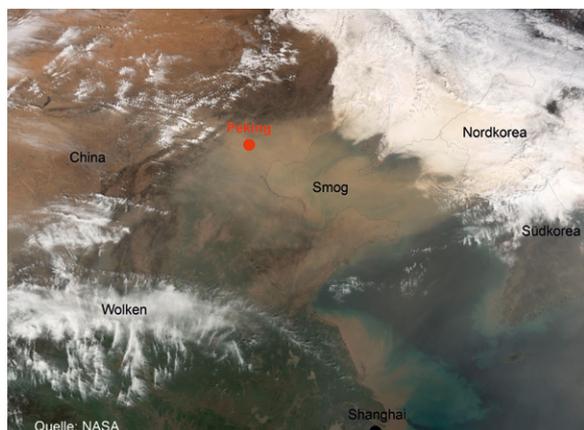


Bild 29: Wer unter derartigen Smogschichten „leben“ muss, kann durch Lüften die Innenraumluftqualität seiner Wohnung nicht verbessern. Ein Albtraum!

Datenblatt Foobot

Gehäuse	ABS-Kunststoff: Glänzend und gummiert		Höhe: 173 mm, Durchmesser: 71 mm, Gewicht: 475 g
Erfasste IAQ-Parameter	Feinstaub	<ul style="list-style-type: none"> • Sensortechnologie: Lichtstreuung, niedrige Latenzzeit • Werkskalibrierung, spontane Signalverarbeitung • Empfindlichkeit: Partikeldurchmesser 0,3 µm bis 2,5 µm (PM_{2,5}) • Bereich 0 mg/m³ bis 1,6 mg/m³; Genauigkeit: +12 % 	
	TVOC (Gesamte VOCs)	<ul style="list-style-type: none"> • MOS-Sensor (Automobilindustrie) • Hohe Zuverlässigkeit und Stabilität • Detektion mit niedriger Latenzzeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Formaldehyd • Isobutan • Toluol • Methan • Ammoniak • Benzol • und weitere
	Kohlenmonoxid (CO)	Hohe Empfindlichkeit des TVOC-Sensors gegenüber CO	TVOC-Bereich: 100 bis 1000 ppb
	Kohlendioxid (CO₂)	Signalverarbeitung rechnet TVOC-Werte in CO ₂ -Äquivalente um	CO ₂ -Bereich: 4000 bis 6000 ppm
	Temperatur	Messbereich; Genauigkeit	0 bis 60 °C; ±1 %
	Relative Feuchtigkeit	Messbereich; Genauigkeit	30 bis 90 % (nicht kondensierend); ±1 %rF
Konnektivität	WLAN 802.11 b/g/n; Sicherheit: offen / WEP/WPA / WPA2-Personal		Datenspeicherung in die Cloud alle 5 Minuten; bei Bedarf sofortige Messungen
Benutzereingriffe	Gesten (auf den Kopf stellen, klopfen, etc.)		iOS (iPhone, iPad); Android, farbige LED Ausgabe
Stromversorgung	Nicht abnehmbares USB-Kabel (2 m)		Steckernetzteil 5 VDC / 0,5 A

Bild 26: Das Datenblatt des Foobots

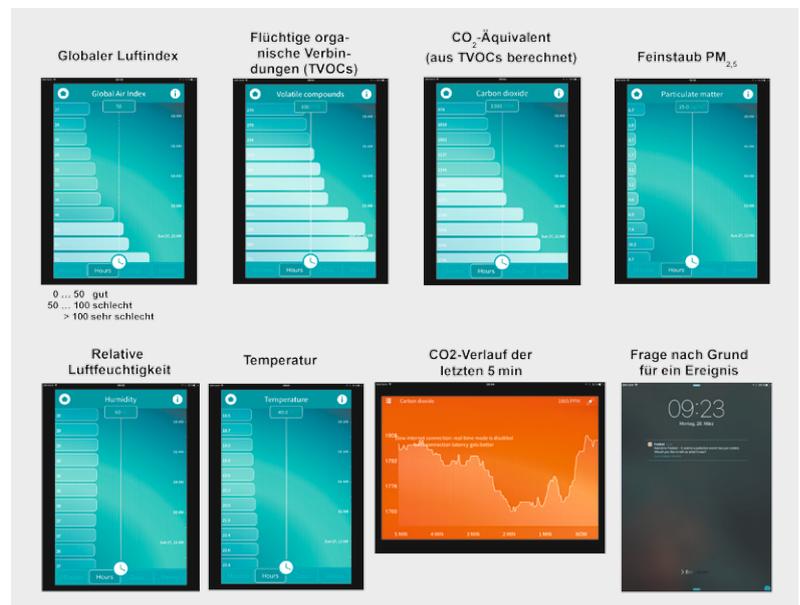


Bild 28: Eine Auswahl einiger Screenshots zeigt die vielfältige und klare Präsentation der Foobot-Messreihen auf dem Display des Smartphones oder Tablets.



Weitere Infos:

- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Feinstaub>
- [4] www.zukunftsraum-schule.de/pdf/kongress/klassenzimmer/Zur_Belastung_der_Atemluft_von_Klassenraeumen_mit_Feinstaub.pdf
- [5] www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte-vormals-ad-hoc
- [6] www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/pid_handbook_1002-02.pdf
- [7] <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=82535>