



Cercl'Air Faktenblatt F1-2024, Stand 27.8.2024

Die Lufthygiene-Fachleute des Cercl'Air informieren zum Thema: Low-Cost-Sensoren für Luftqualitätsmessungen

Zusammenfassung

Dieses Faktenblatt gibt einen Überblick zu Low-Cost-Sensoren für Immissionsmessungen, zu den messtechnischen Prinzipien und zu möglichen Einsatzbereichen. Ein Einsatz von Low-Cost-Sensoren ist aufgrund eingeschränkter Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Zuverlässigkeit höchstens für das Aufzeichnen von kurzzeitlichen, orientierenden Schadstoffverläufen (z. B. auf Baustellen) oder Messungen mit rein qualitativem Charakter sinnvoll. Hingegen eignen sich Low-Cost-Sensoren nicht für regulatorische Messungen und zur Beobachtung von Langzeittrends im lufthygienischen Kontext.

1. Einleitung

Seit einigen Jahren sind kostengünstige Messsysteme zur Bestimmung von Luftschadstoffen auf dem Markt erhältlich. Diese sogenannten Low-Cost-Sensoren werden von verschiedenen Herstellern für unterschiedliche Luftschadstoffe angeboten. Low-Cost-Sensoren sind klein, handlich und können kostengünstig gekauft oder selbst zusammengebaut werden. Dies eröffnet einer breiten Bevölkerung die Möglichkeit, selbst Umweltdaten zu erheben. Zudem gibt es vermehrt Firmen, die ganze Messpakete mit Low-Cost-Sensoren, inklusive Datenübertragung und Datenbereitstellung anbieten. Die Vielzahl der auf dem Markt angebotenen Messpakete führt zu grossen Mengen an Messdaten in unterschiedlichster Qualität.

Dieses Faktenblatt richtet sich an Lufthygiene-fachstellen, Messnetzbetreiber und die fachlich interessierte Öffentlichkeit. Es soll einen kurzen Überblick darüber geben, wie und unter welchen Bedingungen Low-Cost-Sensoren eingesetzt werden können und für welche Anwendungen sie ungeeignet sind. Es geht dabei um Low-Cost-Sensoren für Luftschadstoffe in der Aussenluft¹, für welche es Grenzwerte in der Luftreinhalteverordnung (LRV) gibt. Geräte für

Innenraumluftschadstoffe sowie andere Umweltsensoren werden hier nicht behandelt. Weiter wird aufgezeigt, weshalb die heute eingesetzten Messgeräte für Immissionsmessungen, die auf den jeweiligen Referenzverfahren beruhen, nicht durch Low-Cost-Sensoren ersetzt werden können.

2. Technik

Low-Cost-Sensoren bestehen typischerweise aus einer Messeinheit, in der der Messvorgang stattfindet, einem Messsignalwandler, einem Daten-Logger und einer Kommunikationseinheit zur Datenübertragung. Häufig werden Low-Cost-Sensoren mit der Möglichkeit der Datenübertragung in eine Datenbank in Fast-Echtzeit sowie Datenvisualisierungen angeboten.

Die Messprinzipien von Low-Cost-Sensoren für gasförmige Schadstoffe (z. B. NO₂, NO und O₃) basieren meistens auf elektrochemischen Methoden, teilweise kommen auch Metalloxid-Halbleiter zur Anwendung. Low-Cost-Sensoren für Feinstaub (PM_{2.5} und PM₁₀) basieren auf dem Prinzip der Lichtstreuung. Dabei kann zwischen zwei Typen von Sensoren unterschieden werden: Sensoren, die viele Feinstaubpartikel mit Licht bestrahlen und das Streulicht vieler Partikel detektieren (Streulicht-Photometer),

sowie Sensoren, die Licht an einzelnen Partikeln streuen und der Intensität des detektierten Streulichts eine Partikelgrösse zuordnen (optische Partikelzähler). Optische Partikelzähler liefern gegenüber Streulicht-Photometer zuverlässigere und genauere Messwerte^{2,3,4}.

3. Qualitätssichernde Begleitmassnahmen (Korrektur/Kalibration)

Bei Low-Cost-Sensoren handelt es sich um Messgeräte, die wie andere analytische Instrumente behandelt werden müssen. Dies bedeutet, dass für jede geplante Anwendung vorab (z. B. nach Lagerung) geprüft werden soll, ob die erforderliche Datenqualität mit einem Low-Cost-Sensoren erreicht werden kann. Während des Einsatzes von Low-Cost-Sensoren müssen Massnahmen ergriffen werden, um die für die spezifische Anwendung notwendige Datenqualität sicherzustellen.

Die grundsätzliche Eignung von Low-Cost-Sensoren für eine geplante Anwendung kann durch Vergleichsmessungen von Low-Cost-Sensoren und Referenzinstrumenten ermittelt werden. Beim Einsatz von Low-Cost-Sensoren ist zu beachten, dass sich verschiedene Einflussgrößen negativ auf die Datenqualität auswirken können. So können z. B. Änderungen der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur, sowie bei Sensoren für gasförmige Luftschadstoffe Querempfindlichkeiten gegenüber anderen Spurengasen, die Messwerte beeinflussen. Daher sollten Vergleichsmessungen von Sensoren und Referenzinstrumenten von ausreichend langer Dauer sein, so dass möglichst alle Umweltbedingungen abgedeckt werden.

Basierend auf Vergleichsmessungen mit Referenzinstrumenten können Low-Cost-Sensoren kalibriert bzw. für eine bestimmte Anwendung validiert werden. Es kann eine Funktion bestimmt werden, mit der das gemessene Signal des Sensors korrigiert oder in die Konzentration des zu messenden Luftschadstoffs umgerechnet werden kann. Zudem können mit Hilfe solcher Vergleichsmessungen Leistungskenngrößen der Sensoren bestimmt werden, aus denen sich Rückschlüsse auf die grundsätzliche Eignung von Sensoren für spezifische Anwendungen ziehen lassen.

Es ist wichtig festzuhalten, dass Eignungstests von Sensoren eine Voraussetzung für eine bestimmte Anwendung sind. Sie können jedoch qualitätssichernde Begleitmassnahmen während des Einsatzes nicht ersetzen. Während des Einsatzes von Sensoren muss durch geeignete Massnahmen gewährleistet sein, dass das Driften des Nullpunktes sowie Änderungen der Empfindlichkeit der Sensoren gegenüber dem zu messenden Luftschadstoffes erkannt und korrigiert werden. Die Art und der Umfang von qualitätssichernden Begleitmassnahmen hängen von der Anwendung und den Anforderungen an die Datenqualität ab. Ohne geeignete qualitätssichernde Begleitmassnahmen kann der Messfehler von Sensoren sehr viel grösser sein als der Messfehler, der sich aus den Leistungskenngrößen von Eignungstests ableiten lässt^{1,4,5,6}.

4. Eignungsbeurteilung

Die messtechnische Sensitivität, die Selektivität für die Messgrösse und die Langzeitstabilität sind für Anwendungen von Low-Cost-Sensoren oft limitierend. Diese Einschränkungen können je nach Sensortyp und Messgrösse verschieden sein (z. B. sind optische PM_{2.5}-Sensoren zuverlässiger als elektrochemische O₃-Sensoren⁷). Aufgrund solcher Einschränkungen und Unterschiede in den Sensoren muss für jedes Produkt und jede Fragestellung individuell beurteilt werden, ob und wie gut Low-Cost-Sensoren eingesetzt werden können³ (vergleiche Tabelle 1).

Nach gegenwärtigem Wissensstand sind handelsübliche Sensoren ungeeignet, um für den Vollzug der LRV die Einhaltung von Immissionsgrenzwerten zu überprüfen, da die messtechnischen und regulatorischen Anforderungen an solche Messungen sehr hoch sind⁸. Aus den gleichen Gründen sind sie eher ungeeignet zur Beantwortung wissenschaftlicher, erkenntnisorientierter Fragen. Für anspruchsvollere Anwendungen sind, wie in Kapitel 3 erläutert, umfangreiche qualitätssichernde Massnahmen notwendig. Unter geeigneten Bedingungen können Low-Cost-Sensoren räumliche und zeitliche Unterschiede von Luftschadstoffen erfassen. Die tiefsten Anforderungen für Messun-

gen gelten für den Einsatz von Low-Cost-Sensoren zur Sensibilisierung zum Thema Luftqualität, zum Beispiel für Schulprojekte.

Tabelle 1

Übersicht über Anforderungen an Messungen (Titelspalte) in Abhängigkeit des Messzwecks (Titelzeile) und allgemeine Eignungsbeurteilung von Low-Cost-Sensoren nach gegenwärtigem Wissensstand.

		[Messzweck]				
		Regulatorisch, wissenschaftlich	Langzeitentwicklung	Räumliche Unterschiede ^{a)}	Kurzzeitige Konzentrationsänderung ^{b)}	Sensibilisierung
[Anforderungen]	Messgenauigkeit	quantitativ ^{c)}	quantitativ ^{c)}	qualitativ ^{d)}	qualitativ ^{d)}	gering
	Selektivität für Messgrösse	hoch	hoch	mittel	mittel	tief
	Rückführbarkeit auf Standards	notwendig	notwendig	nicht notwendig	nicht notwendig	nicht notwendig
	Vergleichbarkeit zwischen Geräten	hoch	hoch	mittel	mittel	tief
	Zeitliche Stabilität eines Gerätes	hoch	hoch	mittel	mittel	tief
Eignung Low-Cost Sensoren						

Legende

- a) Räumliche Unterschiede im Sinne von kurzzeitigen Messungen (Stunden bis wenige Tage)
- b) Kurzzeitige Konzentrationsänderung im Sinne von unterschiedlichen Konzentrationen während unterschiedlichen Tageszeiten (z. B. Morgen oder Nachmittag)
- c) quantitativ im Sinne von Messwerten, die auf einer metrischen Skala interpretiert werden können (z. B. die Konzentration beträgt 10 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft).
- d) qualitativ im Sinne von Messwerten die auf einer Ordinalskala interpretiert werden können (z. B. Konzentration am Ort A ist höher als am Ort B).

5. Anwendungsbeispiele

Aufgrund der vorgängig erwähnten Einschränkungen an Genauigkeit und Zuverlässigkeit resultieren nach dem heutigen Stand der Technik nur wenige Anwendungsfälle, für die Low-Cost-Sensoren eingesetzt werden können.

Ein möglicher Anwendungsfall ist die Aufnahme eines kurzzeitlichen Schadstoffverlaufs. Low-Cost-Sensoren können beispielsweise bei der qualitativen Überwachung von Baustellen Unterstützung bieten. Dabei ist es nicht notwendig, dass die Schadstoffbelastung genau gemessen wird, sondern es ist ausreichend

festzustellen, ob eine deutliche lokale Zusatzbelastung vorliegt oder nicht. Durch die hohe zeitliche Auflösung der Messungen ist es unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse (Windstärke, Windrichtung, etc.) möglich, Hinweise zu Ereignissen und deren Herkunft zu gewinnen (z. B. erhöhte Staub-Emissionen)⁹.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit mit rein qualitativem Charakter ist die Erhebung von räumlichen Unterschieden von Luftschadstoffbelastungen, wenn Low-Cost-Sensoren beispielsweise auf Fahrzeugen installiert oder von

Personen getragen werden und über einen bestimmten Zeitraum Daten aufzeichnen¹⁰.

6. Fazit und Empfehlung

Low-Cost-Sensoren sind aktuell für regulatorische Messungen und zur Beobachtung von Langzeittrends ungeeignet. Ein Einsatz von Low-Cost-Sensoren kann jedoch für kurzzeitliche Schadstoffverläufe (z. B. auf Baustellen) oder Messungen mit rein qualitativem Charakter hilfreich sein^{2,3}.

7. Weiterführende Literatur

¹ CEN/TS 17660-1: Technical Specification (2021), Air quality - Performance evaluation of air quality sensor systems - Part 1: Gaseous pollutants in ambient air

² EPA, 2022: The Enhanced Air Sensor Guidebook (EPA/600/R-22/213)

³ Umweltbundesamt (UBA), 2023: Sensoren zur Messung von Luftschadstoffen: Möglichkeiten und Grenzen sowie Hinweise zu deren Einsatz (Texte 77/2023)

⁴ WMO, 2020:[An update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition](#).

⁵ Kim, H., Müller, M., Henne, S., Hüglin, C., 2022: Long-term behavior and stability of calibration models for NO and NO₂ low-cost sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(9), 2979-2992. <https://doi.org/10.5194/amt-15-2979-2022>

⁶ Bigi, A., Müller, M., Grange, S. K., Ghermandi, G., Hüglin, C. (2018). Performance of NO, NO₂ low cost sensors and three calibration approaches within a real world application. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 3717-3735. <https://doi.org/10.5194/amt-11-3717-2018>

⁷ OSTLUFT 2021:[Statuspapier Luftqualitätsüberwachung mittels low-cost-Sensoren](#)

⁸ BAFU, 2021: Immissionsmessung von Luftfremdstoffen. Messempfehlungen. Stand 2021. 2. aktualisierte Auflage 2021. Erstausgabe 1990. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2104

⁹ Lufthygieneamt beider Basel: Messung von PM_{2.5} mittels Low-Cost-Sensoren als Teil der Luftqualitäts-Überwachung während der Transformation des Chemie-Areals Rosental, Basel. Siehe Link: <https://data.bs.ch/pages/rosental-dashboard/> (Stand 28.05.2024)

¹⁰ Lufthygieneamt beider Basel: Feinstaubmessungen mit Mikrosensoren im Rahmen des Interreg 5-Projekts «Atmo-VISION». Link: https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutz-direktion/lufthygiene/lufthygiene/luftqualitat/atmovision-projekte/downloads-1/2020-06-05-abschlussbericht-probanden.pdf/@@download/file/2020-06-05_Abschlussbericht_Probanden.pdf (Stand 05.07.2024)