

Mobile Messsysteme für die Lösung von Innenraumschadstoffproblemen

Das Thema gesundheitsrelevanter Luftschadstoffe hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Da sich Menschen in Industrienationen die meiste Zeit in Gebäuden aufhalten, ist dabei gerade die Innenraumluftqualität von besonderer Relevanz, auch wenn die öffentliche Aufmerksamkeit bisher im Wesentlichen auf der Außenluft liegt. Das Spektrum an luftgetragenen Schadstoffen in Innenräumen ist äußerst vielfältig und lässt sich grob in partikelförmige Schadstoffe verschiedener Größen sowie anorganische oder organische Gase einteilen. Zahlreiche epidemiologische und toxikologische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen der luftgetragenen Schadstoffbelastung und negativen gesundheitlichen Folgen. Im Zuge der COVID-19-Pandemie ist zudem besonders offenkundig geworden, dass auch Infektionskrankheiten auf dem Luftweg übertragen werden können. Neben den direkt als Schadstoff gewerteten Substanzen können auch Umgebungsparameter wie Temperatur, Luftfeuchte, Beleuchtung oder Lärm Einfluss auf die Behaglichkeit und Gesundheit haben.

Die Luftqualität in Innenräumen wurde bereits in zahlreichen Studien mit etablierter und validierter wissenschaftlicher Messtechnik untersucht. Aufgrund der meist teuren, komplexen und wenig mobilen Messtechnik wurden dabei jedoch meist Kompromisse bei der Anzahl der untersuchten Parameter, der Länge des Studienzeitraums oder der zeitlichen Auflösung eingegangen. Jedoch hat sich in den letzten Jahren die Sensortechnik für Luftschadstoffe stark weiterentwickelt, sodass für eine große Bandbreite an Schadstoffen mobile, miniaturisierte und kostengünstige Lösungen bereitstehen, die eine angemessene Luftschadstoffüberwachung für Innenräume versprechen. Kostengünstige Sensoren sind jedoch oft mit konstruktiven Kompromissen verbunden, die messtechnische Grenzen in Hinblick auf Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Sensitivität und Querempfindlichkeiten setzen. Ein wesentliches Problem besteht zudem darin, dass die kostengünstigen Systeme oft nicht gegenüber etablierten Methoden validiert sind oder komplexe Kalibrier- bzw. Korrekturalgorithmen verwenden, deren Parameter für den Anwender oder die Anwenderin nicht zugänglich sind.

Aus diesem Grund wurde im Auftrag des Umweltbundesamts im Jahr 2018 ein Forschungsprojekt gestartet und 2022 erfolgreich abgeschlossen. Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Multi-Parameter-Messsystems zur schnellen und transparenten Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Grundlegender Ansatz war dabei, einen Kompromiss zwischen möglichst geringen Kosten und gleichzeitig einer für den jeweiligen Anwendungsfall akzeptablen Genauigkeit zu finden. Dazu wurden ausgewählte Sensoren zunächst unter Laborbedingungen in Hinblick auf Ihre Genauigkeit, Reproduzierbarkeit und Querempfindlichkeiten überprüft. Dabei zeigte sich insbesondere für die Sensoren für die Umgebungsparameter und Radon eine akzeptable Genauigkeit. Auch bei den Partikelsensoren wurde eine für ein kostengünstiges Messsystem hinreichende Genauigkeit ermittelt, jedoch ist hier eine Laborvalidierung aufgrund der Vielseitigkeit real auftretender Partikel nur bedingt möglich. Für die Gassensoren wurden insbesondere im niedrigen Konzentrationsbereich deutliche Abweichungen von den Herstellerkalibrierungen offenkundig sowie eine Vielzahl komplexer Querempfindlichkeiten gegenüber verschiedenen Substanzen.

Entsprechend ihrer Eignung wurden Einzelsensoren ausgewählt, elektronisch vernetzt und in einem tragbaren Messkoffer integriert, siehe Abbildung 1. Zudem wurde ein System entwickelt, das die Daten lokal über mehrere Wochen abspeichern und auf einem Laptop, Tablet oder Smartphone in Echtzeit ausgeben kann. Zur Erprobung des Messsystems wurde als Objekt eine Grundschule in Duisburg ausgewählt. Um erste Erfahrungen zur praktischen

Durchführbarkeit der späteren Feldstudie zu sammeln sowie Schülerinnen und Schüler und das Lehrpersonal dafür zu sensibilisieren, wurde zunächst als Vorbereitung eine 16-wöchige Pilotstudie mit kommerziellen CO₂-Ampeln in verschiedenen Klassenräumen durchgeführt. Bei den erhaltenen Daten zeigte sich ein generell gut funktionierendes Lüftungsverhalten an der Schule, jedoch konnten in einigen Fällen Empfehlungen zur weiteren Optimierung abgeleitet werden.



Abb. 1: Messkoffer und Datenausgabe über Smartphone

Im Anschluss erfolgte eine mehrwöchige Feldstudie mit dem Hauptziel, die Anwendbarkeit des Messsystems in der Praxis zu erproben. Dabei wurden die Massenfraktionen PM_{2,5} und PM₁₀ und Gesamtanzahlkonzentration an Feinstaub, Black Carbon, verschiedenen Gase (CO₂, CO, NO, NO₂, O₃, SO₂, H₂S, VOC, Radon) sowie Umgebungsparameter wie Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck und Beleuchtungsstärke erfasst. Es zeigte sich, dass das Messsystem autark in den Schulalltag integriert werden kann. Für einige Messparameter (Black Carbon, Gesamtanzahlkonzentration) erwies sich jedoch die Lautstärke der Messgeräte als zu hoch, sodass keine Akzeptanz im Unterricht erreicht werden konnte. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Laborvalidierungen ermöglicht das Messsystem für einzelne Parameter (insbesondere Feinstaubkonzentrationen, Radon, CO₂, Umgebungsparameter) eine quantitativ hinreichend genaue Erfassung, während für andere Stoffe (insbesondere NO_x, CO und VOC) auftretende Querempfindlichkeiten starke Limitierungen darstellen. Je nach untersuchtem Schadstoff konnten entweder die Außenluft oder Innenraumquellen als maßgeblich identifiziert werden.

Das entwickelte Messsystem kann in Zukunft dazu genutzt werden, das Verhalten von Luftschadstoffen in Innenräumen besser zu verstehen und möglicherweise zur Verringerung der damit verbundenen gesundheitlichen Auswirkungen beizutragen. Mögliche zukünftige Anwendungsfelder sind beispielsweise der Einsatz im Rahmen eines von Bürgerinnen und Bürgern betriebenen Innenraumluftqualitätsnetzwerks, die Überwachung der Effektivität ergriffener Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität oder der Einsatz zur Beantwortung von luftqualitätsbezogenen wissenschaftlichen Fragestellungen.

Förderhinweis:



Dieses Vorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes – Forschungskennzahl 3717 62 205 0 – erstellt und mit Bundesmitteln finanziert.