

Forschungsprojekt Lüftungsampel: Überprüfung eines Luftqualitätssensors und Luftwechselfmessungen in bewohnten Innenräumen und in Schulen

Martin Llamas, Ulrike Siemers, Norbert Weis

Einführung

Innerhalb des Forschungsprojektes: „Energetische Verbesserung der Bausubstanz“ des Forschungszentrums Jülich, wird unter dem Teilkonzept 2: „LUQAS II Lüftungsampel für den Einsatz im Mietwohnungsbau“ von der Bremer Umweltinstitut GmbH, dem Bremer Energie Institut (BEI) e.V. und der UTEC GmbH ein Gerät zur Überwachung der Luftqualität (Luftqualitätssensor) und des Wohnklimas (Feuchte- und Temperaturfühler) entwickelt - die Lüftungsampel. Ziel der Entwicklung dieses Gerätes ist es den Nutzern eine Handlungsempfehlung für optimales Lüften zu geben. Dies soll die Raumluftqualität verbessern, bei gleichzeitig möglichst niedrigerem Energieverbrauch.

Im Rahmen dieses Projektes erfolgen verschiedene Überprüfungen der Einsatzfähigkeit der in die Lüftungsampel eingebauten Luftqualitätssensoren (LUQAS-Sensoren) unter Labor- aber auch unter realen Wohn- und Nutzungsbedingungen (Praxisuntersuchungen). Die Ergebnisse dieser Überprüfungen werden vorgestellt.

Zusätzlich zu den Überprüfungen der LUQAS-Sensoren wurden Luftwechselfmessungen in mehreren normal genutzten Wohnungen und Schulen durchgeführt. Dies geschah jeweils vor und nach dem Einbau der Lüftungsampel, um dessen Einfluss auf das Lüftungsverhalten der Bewohner einschätzen zu können. Drei verschiedene Methoden zur Bestimmung der Luftwechselraten mit Hilfe von Tracergas werden vorgestellt und deren Anwendung im Projekt beschrieben.

Prüfkammeruntersuchungen der eingesetzten LUQAS-Sensoren

Mit den ersten zur Verfügung stehenden LUQAS-Sensoren wurden zunächst Funktionsüberprüfungen mit verschiedenen Belastungssituationen durchgeführt (belastete, unbelastete Innenräume). Bei diesen Prototypen zeigten sich bei den Untersuchungen relevante Unterschiede in der Signalstärke der einzelnen Sensoren. Die Charakteristik der Messkurven war jedoch vergleichbar. Eine Vergleichsmessung der eingesetzten Sensoren unter Laborbedingungen wurde erforderlich. Obwohl der Hersteller eine Kalibrierung der Sensoren ab Werk durchführt, schien es angebracht, die Sensoren weitergehend zu prüfen, um Klarheit über die Ursache der Abweichungen zu gewinnen. Dementsprechend wurden Vergleichsmessungen der LUQAS-Sensoren untereinander und Untersuchungen zum Ansprechverhalten einzelner Sensoren auf Einzelsubstanzen sowie auf veränderte klimatische Verhältnisse (Luftfeuchte, Temperatur) durchgeführt.

Vergleichsmessungen

Der Aufbau der verwendeten Prüfkammer bei den Vergleichsmessungen ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Vergleichsmessungen dienen der Erfassung von Abweichungen der Messwerte verschiedener LUQAS-Sensoren untereinander. Da sich die Messwerte bei verschiedenen Schadstoffkonzentrationen (signifikant) unterscheiden, müssen für jede Belastungssituation spezifische Korrekturfaktoren eingerechnet werden, damit

die Messwerte untereinander vergleichbar sind. Die Messwerte liegen dann alle übereinander. Der Aufbau der Messung stellt sich wie folgt dar: Eine flüchtige Substanz wird mit Hilfe von Diffusionsröhrchen (Abbildung 2) in die Prüfkammer eingebracht.

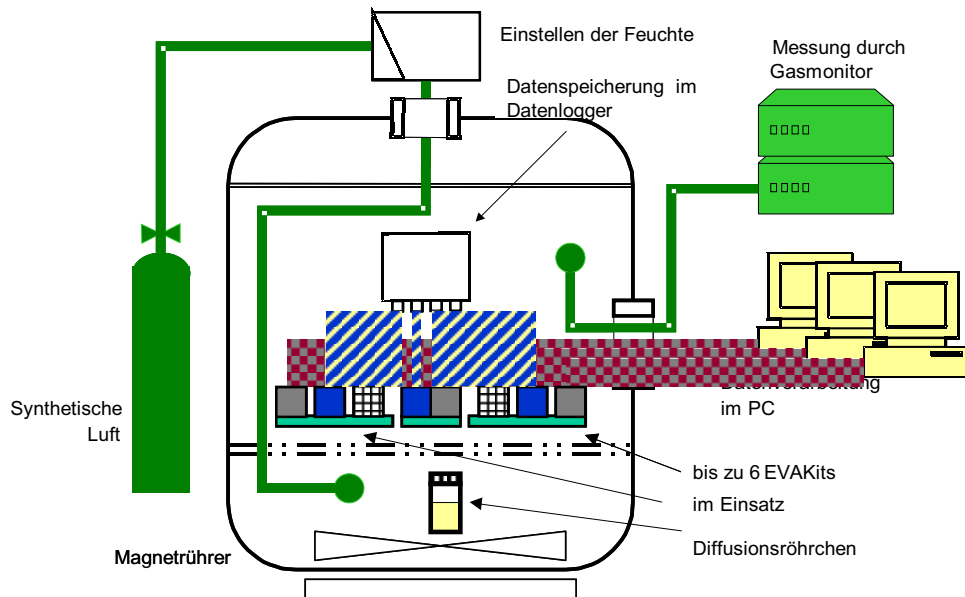
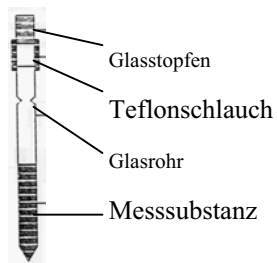


Abbildung 1: Messaufbau zur Vergleichsmessung in der Prüfkammer des Bremer Umweltinstituts



In unserem Beispiel (Abbildung 19) handelte es sich um n-Hexan, welches mit konstanter Emissionsrate in die Prüfkammer einströmt. Das Diffusionsröhrchen wird in nächster Nähe des Magnetrührers angeordnet. Die Spülung mit synthetischer Luft erfolgt mit ca. 5 l/h. Durch Variation des Zuluftvolumenstroms werden verschiedene Konzentrationsstufen eingestellt. So können eine Vielzahl von Messwerten bei verschiedenen Luftkonzentrationen gewonnen werden.

Abbildung 18: Aufbau eines Diffusionsröhrchens

Die Versuchsergebnisse bestätigen, dass die Sensoren unter gleichen Bedingungen eine grundsätzlich gleiche Kurvenform bei allerdings abweichenden Signalstärken aufweisen. Bei einem gemessenen Maximum von 200 Einheiten (Sensorsignal) betragen die Abweichungen bis zu 30 Einheiten entsprechend 15% und bestätigen in ihrer Größenordnung die unter Realbedingungen im Innenraum beobachteten Werte der ersten Funktionsprüfungen. Die Messkurven sind in Abbildung 19 dargestellt.

Die beobachteten Abweichungen der Messsignale sind anscheinend systematisch. Somit besteht die Möglichkeit, die auftretenden Differenzen zu kompensieren und die Sensoren unter Verwendung von Korrekturgrößen auf ein Einheitsmaß zu beziehen. Da kein unabhängiges Eichmaß existiert, wird ein ausgewählter Sensor (E) als Referenz verwendet und die Signale der anderen Sensoren auf dessen Signal korrigiert.

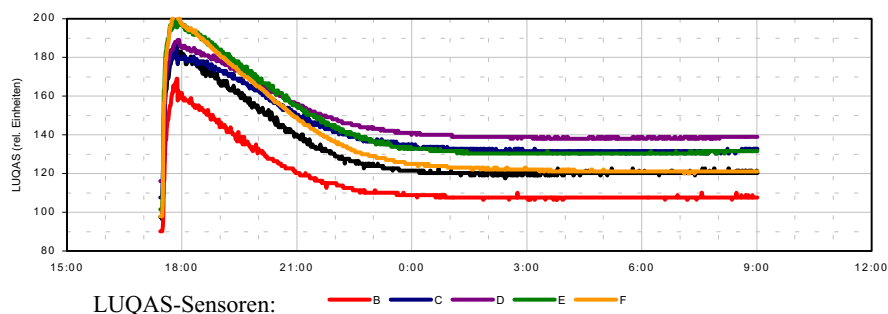


Abbildung 19: Signalverläufe von 6 Prototypen in einer Prüfkammer

Ansprechverhalten der LUQAS-Sensoren auf Einzelstoffe

In Innenräumen gibt es eine Vielzahl von Problemstoffen. Zu den Substanzen, die von besonderem Interesse sind, gehören neben Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid und schwerflüchtigen organischen Verbindungen wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) oder polychlorierte Biphenyle (PCB) vor allem flüchtige organische Substanzen (VOC = volatile organic compounds, VVOC = very volatile organic compounds).

Zur Überprüfung des Ansprechverhaltens wurden Einzelstoffuntersuchungen in der Prüfkammer durchgeführt. Da weit mehr als Hundert verschiedene VOC bzw. VVOC in Innenräumen bekannt sind ist eine Überprüfung aller Substanzen sehr aufwendig. Somit wurde von jeder Substanzgruppe der VOC eine geeignete Referenzsubstanz in die Messungen einbezogen. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt. Schwerflüchtige Substanzen, wie PAK und PCB, wurden in den Messungen ebenfalls berücksichtigt.

Die Gesundheitsgefahr, die von organischen Substanzen ausgeht, ist jedoch sehr substanz- und konzentrationsspezifisch. Auch das Ansprechverhalten des Sensors auf verschiedene flüchtige organische Stoffe erscheint sehr unterschiedlich.

Tabelle 7: Im Messprogramm der Einzelstoffuntersuchungen überprüfte Substanzgruppen und zugehörige Schadstoffe

Substanzgruppe	Substanzauswahl
Alkane	n-Hexan
Aromate	Toluol
Alkohole	n-Butanol
Aldehyde	Hexanal
Glykole und Ester	Ethylenglykolmonophenylether (EGMP)
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	Trichlorethan
Ketone	Aceton
Terpene	Limonen und α -Pinen
Andere organische Substanzen	Polychlorierte Biphenyle (PCB), Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
anorganische Substanzen	Kohlendioxid

Die Messung in der Prüfkammer erfolgt mit simultaner Erfassung der absoluten Luftfeuchte und des Summengehalts aller organischer Substanzen (TOC-Gehalt) mit Hilfe eines photoakustischen Monitors [kontinuierlich messendes Analysegerät. Messprinzip: Infrarot-Photoakustik Spectroscopy (PAS) und Magnetakustik (MA)] und Probenahmen mit Thermodesorptionsröhrchen (Tenax TA/Carbotrap X) mit anschließender GC-MS Bestimmung der VOC und damit genauen Zusammensetzung der Prüfkammerluft mit VOC.

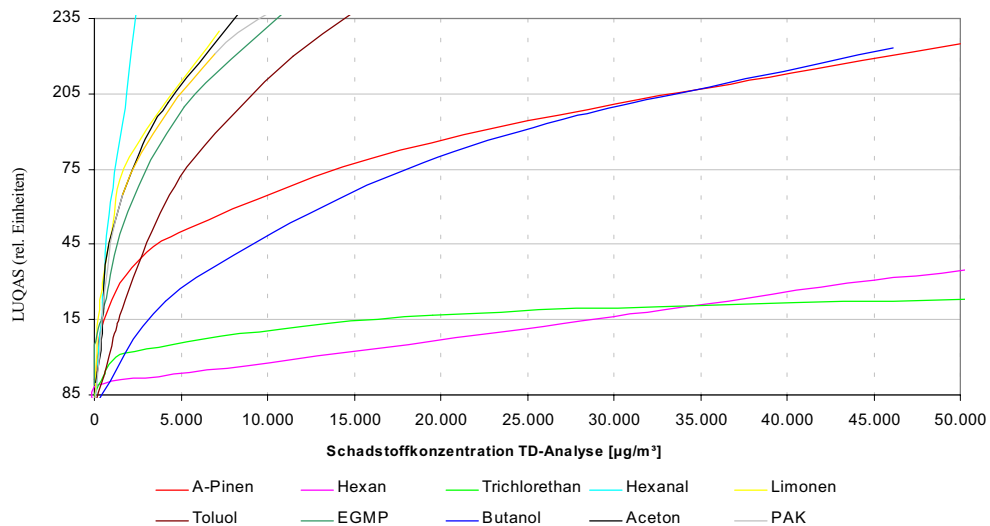


Abbildung 20 Prüfkammeruntersuchungen auf Einzelstoffe (flüchtige organische Substanzen)

Als Ergebnis ist festzustellen, dass das Ansprechverhalten der LUQAS-Sensoren auf verschiedene Substanzen, die jeweils die Substanzklassen repräsentieren, sehr unterschiedlich ist (Abbildung 20). Während bei Anwesenheit von Hexanal (Gruppe: Aldehyde) und Limonen (Gruppe: Terpene), sowie Aceton, EGMP und Toluol eine starke Reaktion des LUQAS-Sensors schon bei niedrigeren Konzentrationen gegeben ist, reagiert der LUQAS-Sensor bei einer hohen Schadstoffbelastung mit Trichlorethan (Gruppe: halogenierte Kohlenwasserstoffe) oder n-Hexan (Gruppe: Alkane) relativ träge.

Problematisch dabei ist, dass eine hohe Konzentration dieser Substanzen nicht als hohe Schadstoffbelastung erkannt werden würde, da keine adäquate Reaktion des Sensors erfolgt.

Wie der Vergleich von Limonen und α -Pinen zeigt, können auch innerhalb einer Substanzgruppe die Reaktionen des LUQAS-Sensors durchaus unterschiedlich sein. Die Tendenz der Empfindlichkeit bleibt bei den Terpenen jedoch erhalten.

Da Innenraumkonzentrationen flüchtiger organischer Substanzen in der Summe meist zwischen 0,01 und 2 mg/m³ liegen, ist dieser Bereich für die Beurteilung der Sensorreaktionen am bedeutsamsten. Im Vergleich zum späteren Kurvenverlauf ist die Sensorempfindlichkeit von n-Hexan und Trichlorethan im Bereich von bis zu einigen hundert µg/m³ noch relativ hoch. Oberhalb von ca. 1 mg/m³ ist sie nur noch schwach ausgeprägt. Bei „normal“ hohen Schadstoffkonzentrationen, wie sie in den meisten Wohnungen vorherrschen (bis wenige hundert µg/m³), ist somit auch mit dem Beitrag dieser Substanzen zum Gesamtsignal des LUQAS-Sensors zu rechnen.

Bei der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wurde ein Gemisch aus mehreren Substanzen verwendet, die alle zu den leichtflüchtigeren PAK gezählt werden (z.B.: Anthracen, Phenanthren, Naphthalin, Fluoren). Ein Bezug zu schwerflüchtigeren PAK's ist somit nicht gegeben. Da eine Belastung der Innenraumluft durch diese mit nur wenigen Mikrogramm PAK/m³ schon als hoch bewertet wird und Belastungen im Milligrammbereich /m³ praktisch nicht vorkommen, ist bei gesundheitlich schon bedenklichen Werten (mehrere µg/m³) die Reaktion des Sensors noch gering und somit nicht relevant für das Gesamtsignal.

Bei der Untersuchung von polychlorierten Biphenylen (PCB) ließ sich bis zu einer Schadstoffbelastung von 300 ng keine Reaktion des Sensors feststellen. Ab dieser Konzentration ist jedoch schon eine gesundheitliche Beeinträchtigung zu befürchten.

Kohlendioxid hat auf das Sensorsignal keinen Einfluss und spielt dementsprechend bei der Beurteilung der Sensorempfindlichkeit keine Rolle.

Die unterschiedliche Zusammensetzung der Innenraumluft mit flüchtigen organischen Substanzen hat somit einen maßgeblichen Anteil an der Reaktion des Sensors. Hohe Sensorsignale können auf eine relativ geringe Belastung mit beispielsweise Hexanal hinweisen oder auf eine sehr hohe Belastung mit beispielsweise Trichlorethan.

Aus gesundheitlicher Sicht bedenkliche Konzentrationen einiger Schadstoffe wie PAK, PCB, oder Trichlorethan können mit Hilfe des LUQAS-Sensors nicht ausreichend empfindlich detektiert werden. Der Sensor ist für Anwendungen zur Überprüfung derartiger Schadstoffe also nicht geeignet.

Verhalten der LUQAS-Sensoren auf veränderte klimatische Verhältnisse

Es ist zu klären, inwieweit Veränderungen in Temperatur und Feuchtigkeit der Raumluft einen Einfluss auf das Signal des Luftqualitätssensors haben können. Hierzu wurde in einigen Versuchsreihen die Temperatur und/oder die Luftfeuchte in der Prüfkammer variiert.

Temperaturunterschiede hatten bei neuen Sensoren keinen Einfluss auf das Sensorsignal. Eine langsame Abnahme der Feuchte ebenfalls nicht. Bei schnellerem Abklingen der relativen Feuchte zeigten sich bei einigen neuen LUQAS-Sensoren unterhalb einer relativen Luftfeuchte von 5 % Ausfallerscheinungen (gemessen mit photoak. Monitor). Ein Ausfall der Sensoren während einer „normalen“ Nutzung im Wohnraum ist jedoch unwahrscheinlich, da dort Luftfeuchten unter 15 % relativer Luftfeuchte praktisch nicht vorkommen.

Andere Sensoren, die in Wohnräumen, Prüfkammern oder anderen Untersuchungen über mehrere Wochen und Monate bereits in Gebrauch waren, zeigen jedoch teilweise ein anderes Verhalten. Bei diesen Untersuchungen stellte sich heraus, dass bei einer relativ schnellen Änderung der relativen Luftfeuchte von 50 % auf 5 % innerhalb 60 Minuten und gleichbleibender Schadstoffbelastung (TOC reference Propane) ein Einfluss auf das Sensorsignal zu erkennen ist. Unterhalb einer relativen Luftfeuchte von 35 % sinkt in dieser Untersuchung auch das Sensorsignal ab (um ca. 5-8 Einheiten), obwohl eine Schadstoffveränderung nach unten nicht zu erkennen ist (Hellgrau markierter Bereich). Nach Aussage der Produktionsfirma der Sensoren ist diese Abweichung dadurch zu erklären, dass die elektronische Feuchtekompensation an ihren unteren und oberen Grenzen ungenauer wird.

Je nach Sensor ist bei einer rel. Luftfeuchte zwischen 4 % und 25 % das Sensorsignal komplett ausgefallen (dunkelgrau markierter Bereich). Bei Überschreiten dieser Luftfeuchte wurden wieder normale Messwerte registriert. Dieses Verhalten der Sensoren wurde der Produktionsfirma mitgeteilt und diskutiert und konnte durch eine elektronische Korrektur beseitigt werden.

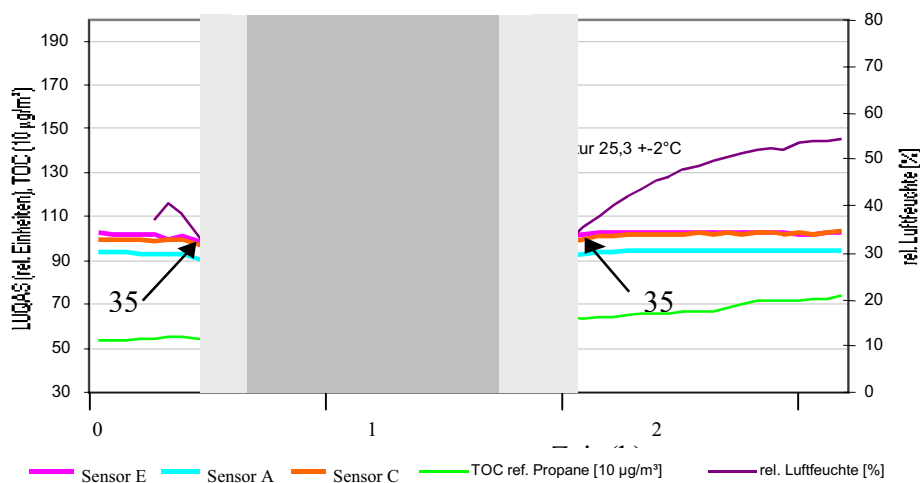


Abbildung 5: Minderung der Messwerte „gebrauchter“ LUQAS-Sensoren bei Rückgang der Feuchte (Referenzmessung mit photoak. Monitor)

In den gegenwärtigen Praxisuntersuchungen in Wohnungen und Schulen deutet nichts auf Sensorsignalausfälle hin, die durch niedrige Feuchtegehalte ausgelöst wurden.

Bestimmung von Luftwechselraten in Wohnungen und Schulen

Die Lüftungsampel besteht aus drei Sensoren (Luftqualitätssensor, Temperaturfühler und Luftfeuchtesensor). Sie gibt ein optisches Signal als Handlungsempfehlung für optimales Lüften. Um einschätzen zu können, inwieweit der Einsatz der Lüftungsampel in den Wohnungen der Praxisuntersuchung zu einer Veränderung der Lüftungsgewohnheiten und damit zu einer Erhöhung oder Absenkung des Luftwechsels führt, werden Untersuchungen zur Ermittlung der Luftwechselraten durchgeführt. Dies dient der Beurteilung, ob der Einsatz der Lüftungsampeln zu einer Veränderung des Energieverbrauches und/oder zu einer Verbesserung der Innenraumluftqualität in den untersuchten Wohnungen führt oder darauf keinen oder nur geringen Einfluss hat.

Es werden bestimmte Anforderungen an den Ablauf und die Art der Luftwechselmessungen gestellt. Es soll der Außenluftwechsel der gesamten Wohnung in einer kontinuierlichen Langzeitmessung über 7-10 Tage ermittelt werden, ohne das normale Verhalten der Bewohner zu beeinflussen. Dieses kann mit Hilfe eines photoakustischen Monitors mit automatischer Probennahme und Dosierungseinheit geleistet werden (Multipoint sampler and doser und photoacoustic monitor der Firma INNOVA).

Neben der kontinuierlichen Erfassung von Kohlendioxid, des Summengehaltes flüchtiger organischer Verbindungen (TOC) und Formaldehyd wird mit dem photoakustischen Monitor auch das Indikatorgas Schwefelhexafluorid (SF_6) gemessen, das zur Ermittlung der Luftwechselraten in den Raum eingebracht wird. Zur Bestimmung des Luftwechsels können mit dem verwendeten Tracergassystem verschiedene Methoden ange-

wandt werden. Sie sind je nach Messintensität für verschiedene Anwendungen gebräuchlich und unterscheiden sich maßgeblich im Messaufwand und in den Kosten. Für die quantitative Bestimmung des Luftaustausches bietet die Tracergastechnik eine geeignete Möglichkeit.

Im folgenden werden drei einsetzbare Methoden erläutert:

- Konzentrationsabkling-Methode:

Bei diesem Verfahren wird das Tracergas einmalig in den Raum eingebracht. Das Abfallen der Konzentration wird kontinuierlich erfasst und ist in Abhängigkeit von der Zeit ein Maß für die Höhe des Luftwechsels.

- Methode der konstanten Konzentration:

Mit einer kalibrierten Injektionseinrichtung (hier: bestehend aus photoakustischem Monitor und Multipoint sampler und doser von INNOVA) wird die Konzentration des Tracergases im Raum so gesteuert, dass sie über die Zeit konstant bleibt. Die Menge an Tracergas, die für die Aufrechterhaltung der Konzentration benötigt wird, ist ein Maß für den Luftaustausch des Raumes.

- Methode der konstanten Injektion:

In den Raum wird ein zeitlich konstanter Volumenstrom an Tracergas zugegeben. In Abhängigkeit des jeweiligen Luftwechsels stellt sich eine bestimmte Konzentration des Gases ein, die gemessen und ausgewertet wird.

Für die spezielle Anwendung in **bewohnten Innenräumen** hat sich in diesem Projekt die Methode der konstanten Konzentration als praktikabelste Möglichkeit für die kontinuierliche Erfassung des Luftwechsels erwiesen. Dabei wird in der Praxis durch Teflonschläuche Luft aus den verschiedenen Räumen (bis zu 6 gleichzeitig) angesogen (Messintervall je Raum: ca. alle 5 Minuten) und direkt im photoakustischen Monitor analysiert. Die Dosierung des Tracergases SF_6 in die Räume geschieht ebenfalls über (andere) Teflonschläuche mit Hilfe der automatischen „sampling/dosing“ Einheit.

Um gesicherte Aussagen zum Luftwechsel erhalten zu können, muss gewährleistet sein, dass an jedem Punkt im Raum die gleiche Konzentration an SF_6 vorliegt. Um eine gute Durchmischung des Tracergases in dem gesamten Wohnraum zu gewährleisten, werden üblicherweise Ventilatoren verwendet. Da diese aber eine Einschränkung oder Störung



der Bewohner zur Folge hat und das Nutzungsverhalten sowie die Verteilung anderer Parameter (VOC, Formaldehyd, Temperatur, Feuchtigkeit) beeinflusst werden kann wird hier eine gleichmäßige Durchmischung im Raum erreicht, indem in jeden Raum je nach Raumgröße an 2-4 Dosierungspunkten das Tracergas injiziert wird. Zusätzlich wird auch durch Bewegung und Atmung der Bewohner die Durchmischung verbessert. Da das analytische Gerät in den Wohnräumen verbleibt, wird dessen Lärmemission durch eigens hergestellte Schalldämmkoffer gemindert (Bild 1).

Bild 1: sampling/dosing Einheit und photoakustischer Monitor in schalldämmten Koffern

Um den Außenluftwechsel der gesamten Wohnung annähernd richtig berechnen zu können, wird durch gleichzeitiges Ansaugen aus allen Räumen und Erzeugen einer Mischluft eine messtechnische Mittelung aller Messpunkte erreicht. Aus diesem Durchschnittswert wird ermittelt, wieviel SF₆ in alle Räume injiziert werden muss, um die Konzentration konstant zu halten. Diese injizierte Menge an SF₆ ist also das Maß für die Berechnung des gesamten Außenluftwechsels der Wohnung und wird vom Gerät selbst errechnet.

Zusätzlich wird auch noch in jedem Raum die SF₆-Konzentration einzeln gemessen, um zu kontrollieren, ob die Konzentrationen in den Räumen wirklich annähernd gleich sind. Falls dies nicht der Fall ist, können dementsprechend Korrekturwerte für den Luftwechsel dieses Zeitraums eingerechnet werden (siehe Abbildung 6 und 7). Als Beispiel kann im vorliegenden Fall erkannt werden, dass der Mittelwert an einer Stelle (siehe Abbildung 6, markierter Bereich) im Vergleich zu den Einzelmesswerten der Räume zu hoch ist. Grund für diese Abweichung ist die Dosierung von SF₆ in die Räume, infolge des Fensteröffnens kurz vor Beginn der Mittelungsmessung.

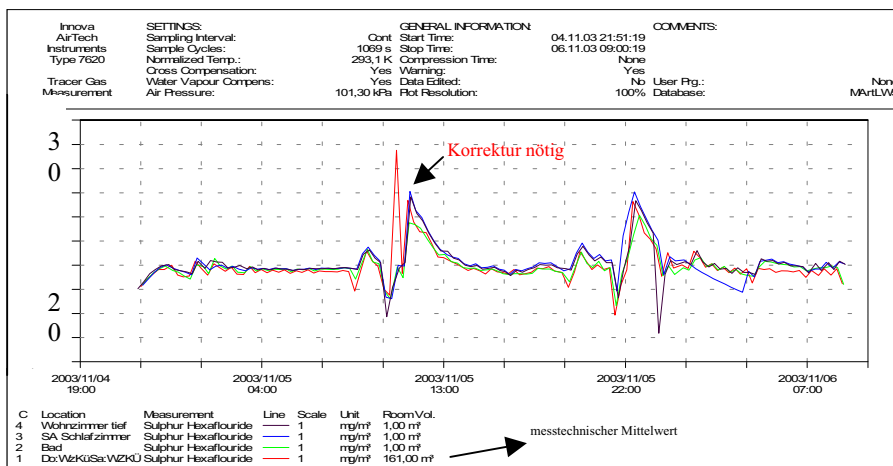


Abbildung 6: Darstellung der SF₆ Konzentrationen verschiedener Räume und des messtechnischen Mittelwertes mit Korrekturstelle

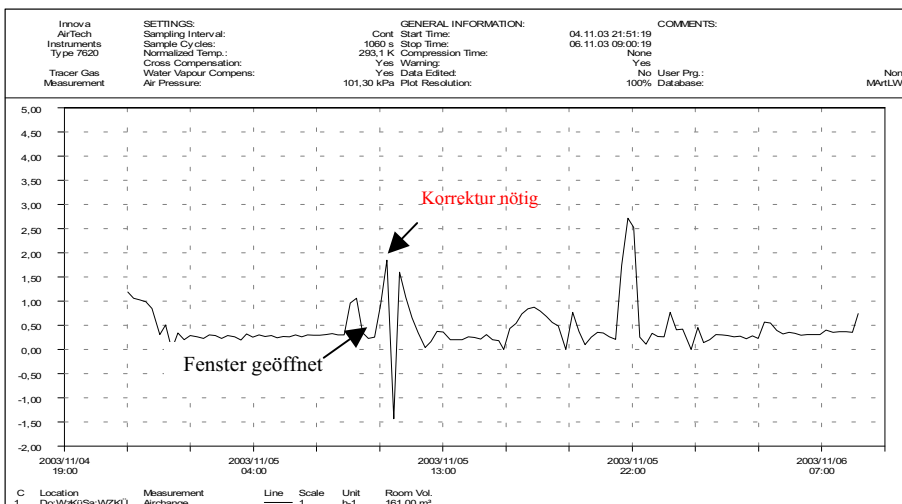


Abbildung 7: Darstellung des errechneten Luftwechsels, Korrekturnotwendigkeit

In Abbildung 7 ist exemplarisch der Verlauf des Luftwechsels einer Testwohnung über die Zeit dargestellt. Wenn ein Messwert stark vom messtechnischen Mittelwert abweicht, werden manuell Korrekturwerte eingerechnet, wie in Abbildung 5 und 6 veranschaulicht wird.

Für die Luftwechselfmessung in **Schulen** ist eine solch aufwendige Durchführung der Messung hinsichtlich der Messtechnik und der Kosten nicht erforderlich, da es sich meist jeweils nur um einen zu überprüfenden Klassenraum handelt. Hierfür hat sich die Konzentrationsabkling-Methode als geeignet erwiesen. Durch ein Magnetventil mit Zeitsteuerung, das an die Druckgasflasche des Tracergases angeschlossen ist, wird an verschiedenen Stellen im Raum über kurze Zeit das Indikatorgas (5 % SF₆, 95 % synthetische Luft) zugegeben. Nach wenigen Minuten hat sich im Raum eine bestimmte Konzentration eingestellt, die je nach Infiltration bzw. Fenster- oder maschineller Lüftung mehr oder weniger schnell abnimmt und damit ein Maß für den Luftwechsel ist. Nach einer variabel einstellbaren Zeitspanne wird wieder SF₆ hinzugegeben und mit Hilfe des photoakustischen Monitors die Raumluftkonzentration dieser Verbindung kontinuierlich gemessen.

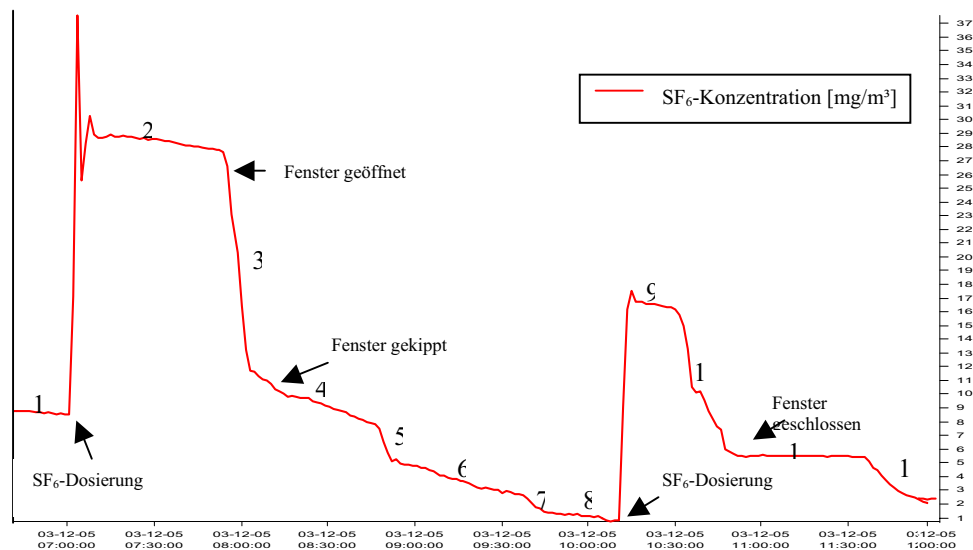


Abbildung 8: Ermittlung des Gesamtluftwechsels durch Berechnung der Teilabschnitte 1 - 12 nach der Abklingmethode (Schulraum)

Diese Messmethode hat den Vorteil, dass sie relativ fehlerresistent und weniger geräteintensiv ist als das bei den Wohnungen eingesetzte Verfahren. Ein Nachteil stellt die zeitaufwendige Auswertung dar, da bei jeder geringfügigen Änderung des Luftwechsels dieser einzeln, sozusagen manuell bestimmt werden muss (siehe Abschnitte 1-12, Abbildung 8). Nachteilig ist auch, dass zeitgleich nur ein Raum gemessen werden kann, was für diese Anwendung jedoch ausreichend ist. Der Gesamtluftwechsel des Raumes ergibt sich durch Zusammensetzung der Einzelluftwechsel und beträgt im aufgeführten Beispiel 0,35/h (Abbildung 8).

Fazit

Es wurden bislang zahlreiche Untersuchungen zur Eignung der Luftqualitätssensoren für den Einsatz in der Lüftungsampel durchgeführt. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann der LUQAS-Sensor mit Einschränkungen für den vorgesehenen Zweck verwendet

werden. Für die meisten VOC-Substanzgruppen reagiert der LUQAS-Sensor ausreichend empfindlich. Für Anwendungen zur Überprüfung bestimmter Schadstoffe (z.B. Trichlorethan, PCB) ist er jedoch nicht geeignet. Auch bei niedrigen Luftfeuchten kann eine Beeinflussung der Messsignale nicht ausgeschlossen werden. Jedoch ist es bei Praxismessungen feuchtebedingt zu keinerlei Ausfällen gekommen, mit einer Minderung der Einsatzfähigkeit ist daher nicht zu rechnen.

Die im Rahmen des Projektes in Wohnräumen und Schulen angewandten Methoden zur Luftwechselratenbestimmung sind in ihrem Ablauf überprüft und werden als geeignet angesehen.

Die vorgestellten Ergebnisse sind Voruntersuchungen. Da die Praxisuntersuchungen in den Wohnungen und Schulen zur Zeit noch anhalten, stehen momentan noch keine konkreten Ergebnisse zu Luftwechselfmessungen und zur praktischen Einsatzfähigkeit der Lüftungsampel zur Verfügung. Weitere Untersuchungen der Sensoren folgen, um die Praxistauglichkeit der Lüftungsampel zu prüfen.

Literatur

DIN EN ISO 12569, 03/2001: Bestimmung des Luftwechsels in Gebäuden. Indikatorgasverfahren, 2001

VDI 4300 Blatt 7, 07/2001: Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen. VDI/DIN –Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 5, 2001