

Luftqualitätsoptimierung in Bildungseinrichtungen: Erkenntnisse aus einer Hörsaalstudie

Julian Huber[‡], Silvia Öttl[‡], Sascha Hammes[★], Daniel Plörer[★]

[‡]Management Center Innsbruck, [★]Universität Innsbruck

Abstract. Die Luftqualität in Hörsälen ist von entscheidender Bedeutung, da sie das Wohlbefinden, die Konzentration und die langfristige Gesundheit beeinflusst, zudem zur Prävention von Infektionen beiträgt und ein optimales Lernumfeld schafft. In Räumen ohne automatische Belüftung kann die Problematik besonders kritisch werden, da nur begrenzte Reaktionsmöglichkeiten vorhanden sind. In dieser Studie wird daher untersucht, welche Faktoren die CO₂-Konzentration in Hörsälen beeinflussen, um eine effektive Belüftung zu identifizieren. Hierzu wurde ein Hörsaal über mehrere Wochen mit CO₂-Sensoren überwacht und zusätzlich Variablen wie Planbesetzung durch Lehrveranstaltungen erfasst. In der folgenden Evaluation wurde bewertet, wie sich die CO₂-Konzentration im Raum in Abhängigkeit von der Nutzung entwickelt und auch, wie sich die CO₂-Konzentration innerhalb des Raumes verteilt. Die Ergebnisse zeigen, dass teilweise kritisch hohe CO₂-Werte erreicht werden, wobei die Anzahl der Raumnutzer eine treibende Kraft ist. Zudem reichen Pausen oft nicht aus, um die CO₂-Konzentration auf ein niedriges Niveau zu senken. Ein Ausblick auf zukünftige Forschungsmöglichkeiten zeigt, dass eine Modellierung des CO₂-Anstiegs dazu beitragen könnte, verbesserte Lüftungsstrategien oder optimierte Raumplanungen zu entwickeln. Zusammenfassend liefert diese Studie wertvolle Einblicke in das Verhalten von CO₂-Konzentrationen in universitären Hörsälen und legt den Grundstein für zukünftige Forschungen zur Optimierung von Belüftungsstrategien und Verbesserung der Innenluftqualität in Bildungseinrichtungen.

Keywords: Smart Building, Sensoren, Raumluftqualität

1 EINLEITUNG

Die Luftqualität in Hörsälen ist von entscheidender Bedeutung, da sie das Wohlbefinden, die Konzentration und die langfristige Gesundheit der Studierenden und Lehrenden beeinflusst, zudem zur Prävention von Infektionen beiträgt und ein optimales Lernumfeld schafft [1]. In Räumen ohne automatische Belüftung kann die Problematik besonders kritisch werden, da nur begrenzte und nicht-automatisierte Reaktionsmöglichkeiten vorhanden sind. Um Optimierungsmaßnahmen abzuleiten, wurde der Verlauf und Einflussfaktoren auf die CO₂-Konzentrationen an verschiedenen Positionen im Raum untersucht. Hierzu wurde ein Seminarraum einer höheren Bildungseinrichtung mit mehreren CO₂-Sensoren ausgestattet und über mehrere Monate überwacht. Die Daten wurden in Bezug auf zeitlichen Verlauf, Personenzahl und Belüftungssituation ausgewertet.

2 VERWANTE ARBEITEN

Während frische Außenluft eine CO₂-Konzentration von etwa 420 ppm aufweist [8], werden in Innenräumen häufig deutlich höhere Werte erreicht. Hohe CO₂-Konzentrationen können zu Kopfschmerzen, Konzentrationsproblemen und Müdigkeit führen [4]. Daher werden sowohl aus Arbeitsschutzgründen [6] als auch zur Verbesserung der Lernbedingungen in Bildungseinrichtungen Grenzwerte für die CO₂-Konzentration empfohlen [3]. Empfohlen wird eine CO₂-Konzentration von 1.000 ppm nicht zu überschreiten. Die maximal zulässige Konzentration an Arbeitsplätzen liegt bei 5.000 ppm.

Gerade in Bildungseinrichtungen werden solche Werte jedoch oft überschritten [3]. Um valide Messungen zu erhalten, ist es wichtig, die Sensoren an geeigneten Positionen im Raum zu platzieren und eine geeignete zeitliche Auflösung zu wählen. In der Literatur werden verschiedene Positionen für CO₂-Sensoren vorgeschlagen, um eine repräsentative Messung zu gewährleisten [1]. Diese Position ist häufig in der Raummitte und in Kopfhöhe der Raumnutzer:innen, z.B. auf 1,5 Metern. Da eine dauerhafte Messung an dieser Position in der Realität jedoch oft nicht möglich ist, wird in dieser Studie untersucht, wie sich die CO₂-Konzentration in Abhängigkeit von der Position der Sensoren im Raum verhält und unter welchen Situationen Abweichungen auftreten. Vorangegangene Studien mit empirischen Messungen und Simulationen haben gezeigt, dass sich die erfasste CO₂-Konzentration z.B. in Abhängigkeit von Belüftungsart und Installationsort der Sensoren verhält [7].

3 METHODEN

Hierzu wurde ein Hörsaal über mehrere Wochen mit CO₂-Sensoren an verschiedenen Positionen überwacht. Zusätzlich wurden Variablen wie Temperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck, Planbesetzung während der Seminare und Vorlesungen sowie die Fenster- und Türöffnungen erfasst. Der Aufbau wurde auch auf dem letztjährigen Forschungsforum der österreichischen Fachhochschulen präsentiert [2]. Der Raum wurde aufgrund seiner

Raumhöhe und dem Nichtvorhandensein einer automatisierten Lüftung ausgewählt, um etwaige Höhenabhängigkeiten bestmöglich zu identifizieren. Tabelle 1 zeigt die Beschreibung des Raumes, welcher mit zwei räumlich verteilten Messsäulen ausgestattet wurde, welche jeweils die CO₂-Konzentration auf vier verschiedenen Höhen erfasst.

- 75 cm: Tischhöhe
- 150 cm: Empfohlene Höhe für CO₂-Sensoren
- 360 cm: Höhe der oberen Fensterkante
- 427 cm: kurz unter Deckenhöhe

Es wurden Sensoren nach dem Prinzip der photo-akustischen Spektroskopie [5] verwendet, welche eine hohe Genauigkeit und Langzeitstabilität aufweisen und durch ihre kleine Bauform und im Zusammenspiel mit miniaturisierten Einplatinencomputer zu keinen Einschränkungen des Lehrbetriebs führten. Die Messgenauigkeit der verwendeten Sensoren wurde mit einer Genauigkeit von 30 ppm bei 400 ppm angegeben, was auch vor und nach dem Messeinsatz überprüft wurde. Dies entspricht auch üblichen Anforderungen für CO₂-Sensoren in Innenräumen.

Als Kontrollvariablen wurden auch Temperatur, relative Luftfeuchte, Belegungsplan der Lehrveranstaltungen, Fenster-, und Tür-Öffnung (nicht kippbar) überprüft. Die Daten wurden über drei Monate (1.2.2023 – 30.5.2023) aufgezeichnet und in einem ersten Schritt auf Plausibilität überprüft. Anschließend wurden die Daten in Bezug auf die CO₂-Konzentration in Abhängigkeit von der Nutzung und der Position der Sensoren im Raum ausgewertet. Die Daten wurden in minütlicher Auflösung erfasst, für die Auswertung aber mittels Mittelwertbildung auf zehn Minuten reduziert.

Tabelle 1: Beschreibung der untersuchten Seminarräumen angepasst aus [2]

Raum A	
Raumhöhe	440 cm
Breite	725 cm
Länge	1280 cm
Volumen	408 m ³
Max. Belegung	50 Personen
Anzahl Türen	1
Anzahl Fenster	4x (nicht kippbar)

4 ERGEBNISSE

4.1 Typischer Tagesverlauf

Abbildung 1 zeigt den typischen Tagesverlauf der gemittelten CO₂-Konzentration aller im Raum befindlichen Sensoren. Der Anstieg, welcher durch die einzelnen

Lehrveranstaltungen ausgelöst wird, ist deutlich zu erkennen. Ebenfalls offensichtlich ist, dass die Pausenzeiten oft nicht ausreichen, um das Niveau wieder auf das Ausgangsniveau am Morgen von ca. 450 ppm zu senken.

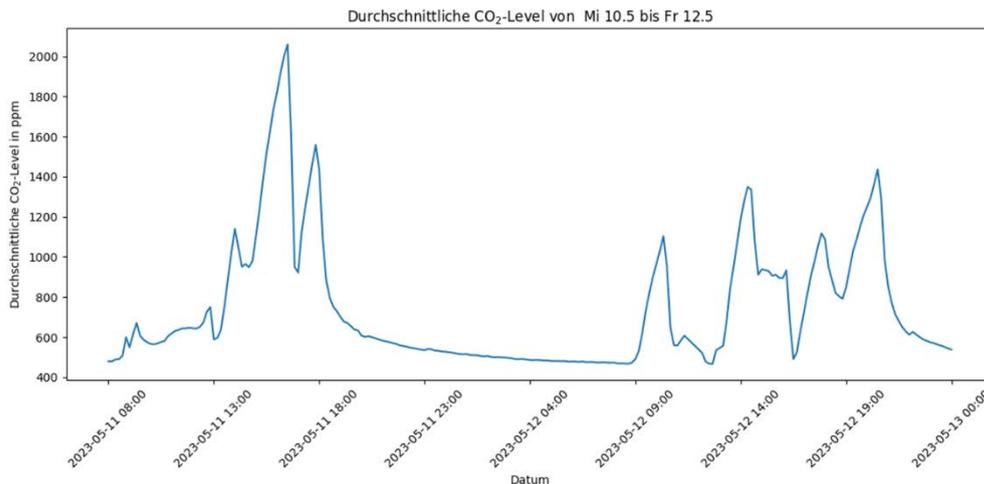


Abbildung 1: Typischer Verlauf der gemittelten CO₂-Konzentration an zwei Tagen mit Lehrbetrieb.

4.2 Unterschiede bezüglich Sensorhöhe

In Abbildung 2 wurden nur die Zeitpunkte berücksichtigt, die mit dem Vorlesungsende zusammenfallen, zu welchem meist die höchsten Konzentrationen erreicht werden. Abbildung 2 zeigt, dass es zum Ende der Vorlesungen hinsichtlich der Verteilung der CO₂-Konzentration über die Höhe kaum einen erkennbaren Unterschied gibt.

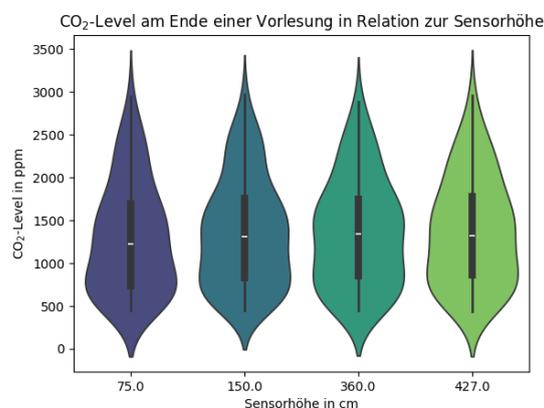


Abbildung 2: Darstellung der Verteilung der erfassten CO₂-Konzentration zum Vorlesungsende für verschiedene Sensorhöhen

Auch der mittlere Höhengradient über den Studienzeitraum in Abhängigkeit der Position und der Anzahl der geöffneten Fenster ist geringer als die Sensorgenauigkeit (vgl. Abbildung 3). Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die Installationshöhe

der Sensoren langfristig keinen relevanten Unterschied macht, wenn es darum geht die Spitzen in der CO₂-Konzentration zu erfassen.

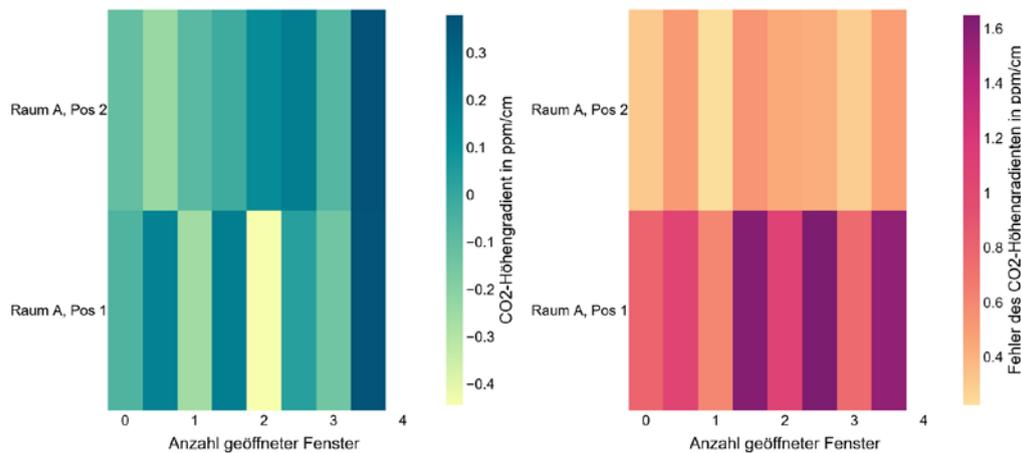


Abbildung 3: Linkes Bild: CO₂-Höhengradient in Abhängigkeit der Messsäule im Raum und der Anzahl der geöffneten Fenster (gekippte Fenster als 0,5 gezählt); Rechtes Bild: der dazugehörige Fehler des CO₂-Höhengradienten.

4.3 Unterschiede bezüglich Belüftungs- und Belegungssituation

Die Literatur postuliert, dass Gradienten mit Höhenabhängigkeit vor allem durch Verteilungseffekte in der Raumlauft einhergehen [7]. Insbesondere können zwei Entwicklungsrichtungen beschrieben werden, welche nur für Vorlesungszeiten ausgewertet wurden: Steigende Werte treten auf, wenn der Raum ohne offene Fenster benutzt wird (drei der letzten vier 10-Minuten-Mittelwerte waren höher als ihr Vorgänger). Hier zeigt sich ein leichter positiver Höhengradient (Abbildung 4), welcher wahrscheinlich auf das Aufsteigen der warmen, CO₂-reichen Atemluft zurückzuführen ist. Analog können fallende Situationen beschrieben werden, wenn gelüftet wird und kalte, CO₂-arme Außenluft in den Raum einströmt und die CO₂-reichere Luft in Bodennähe verdrängt wird.

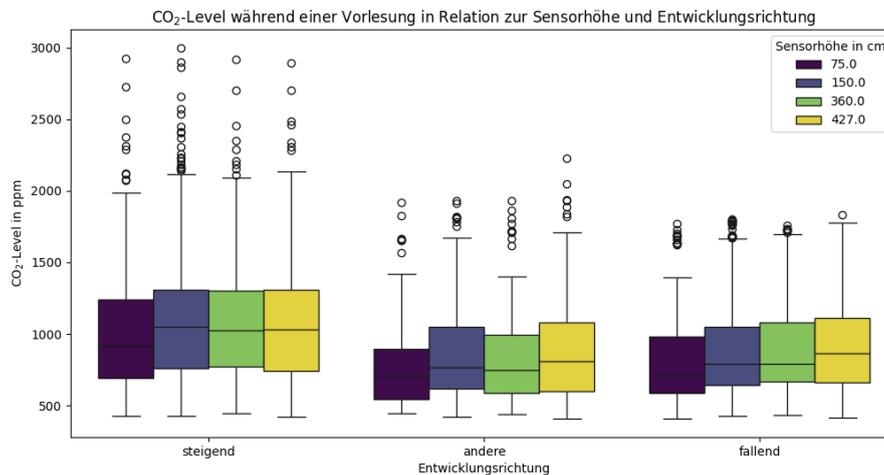


Abbildung 4: Aufteilungen der Beobachtungen während Lehrveranstaltungen in eine steigende und fallende Entwicklungsrichtung

5 DISKUSSION

Die Ergebnisse zeigen, dass vor einzelnen Vorlesungen teilweise kritisch hohe CO₂-Werte erreicht werden, wobei die Anzahl der Raumnutzer:innen die ausschlaggebende Größe ist. Zudem reichen Pausen von 15 Minuten in der Regel nicht aus, um die CO₂-Konzentration auf ein niedriges Niveau zu senken. Über den Tag hinweg steigt die Konzentration deswegen immer weiter an. Innerhalb des Raumes findet ein effektiver Konzentrationsausgleich statt, so dass an allen Sensorpositionen ähnliche Spitzen in den Messwerten erfasst werden. Während Veränderungen in der CO₂-Konzentration konnten leichte positive Höhengradienten beobachtet werden, wobei dieser kleiner ist als die Messgenauigkeit der Sensorik. Hiermit zeigt sich, dass die Sensorpositionen nur wenig relevant sind, bei eigener einer tiefen Positionierung aber ggf. später gelüftet wird oder die Lüftung zu früh gestoppt wird.

6 REFERENZEN

- [1] P. Tappler et. al, Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter - Aktualisierte Fassung 2017, Ministerium für ein lebenswertes Österreich, 2017.
- [2] J. Huber et al., Monitoring der Raumluftqualität: positionsabhängige Messung der CO₂-Konzentration. In Proceedings of 16. FH Forschungsforum der österreichischen Fachhochschulen. St. Pölten, Österreich. 19.-20. April 2023
- [3] Raumluftqualität in österreichischen Schulen. Tappler, D. P., Twardik, D. F., & Damberger, D. B. Wien : s.n., 2006. 1. Fachgespräch „Innenraum und Gesundheit“.
- [4] Tyler A. Jacobson, Jasdeep S. Kler, Michael T. Hernke, Rudolf K. Braun, Keith C. Meyer, William E. Funk. Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. Nature Sustainability. 2019.
- [5] Infineon Technologies AG. XENSIVTM PAS CO₂ Datasheet. www.infineon.com. [Online] 2023. https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-PASCO2V01-DataSheet-v01_03-DataSheet-v01_03-EN.pdf. Letzter Zugriff am 19.4.2024
- [6] ÖNORM. EN 16798-3 - Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme (Module M5-1, M5-4). 15.12.2017.
- [7] Mahyuddin, Norhayati, and Hazim Awbi. "The spatial distribution of carbon dioxide in an environmental test chamber." Building and Environment 45.9 (2010): 1993-2001.
- [8] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). [Online] 2023. <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/hoechstwerte-von-kohlendioxid-und-methan>. Letzter Zugriff am 25.4.2024