

Back to office, back to school

Verringerung des Ansteckungsrisikos durch kontinuierliche CO₂ Messungen in Räumen

Warum sich Covid-19 neben der Beschleunigung der Digitalisierung nachhaltig auf die Verbesserung der Raumluft auswirken wird.

Dr. Michael Niggemann, Enerthing GmbH, Leverkusen

Es ist nun erwiesen, dass sich Sars-Cov-2 Viren durch Aerosole über die Raumluft verbreiten. Belastete Raumluft erhöht das Ansteckungsrisiko. Die Luftqualität an Schulen, in Büros, Gaststätten und überall wo Menschen über einen längeren Zeitraum zusammenkommen ist nun nicht nur wichtig für den Komfort, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit, sondern stellt eine wichtige Größe in der Pandemiebekämpfung dar.

Die CO₂ Konzentration in der Raumluft eignet sich zur Bestimmung der Aerosolkonzentration und ist somit eine geeignete Messgröße für die Kontrolle der Raumluft und somit für die Verringerung des Ansteckungsrisikos über virusbeladene Aerosolpartikel. CO₂ Messgeräte erlauben die zielgerichtete Umsetzung von Lüftungsmaßnahmen. Mit Hilfe einer CO₂ Ampel können dort Lüftungsempfehlungen gegeben werden, wo es keine automatische Lüftung gibt. Die Verwendung einfacher Handmessgeräte ist ein erster Schritt. In Gebäuden mit vielen Nutzern und vielen Räumen, wie Büros und Schulen stoßen Handmessgeräte an Ihre Grenzen. Ohne eine zentrale Speicherung der Daten können keine effizienten Lüftungsmethoden entwickelt und erfolgreich umgesetzte Lüftungskonzepte nicht nachgewiesen werden. In Gebäuden mit technischen Lüftungsanlagen ist eine effektive Regelung der Luft ohne CO₂ Messung auf Raumniveau nicht möglich.

Enerthings Lösung zur großskaligen Erfassung der Raumluftqualität in Schulen und Bürogebäuden ist einzigartig. Durch den photovoltaischen Betrieb des Sensornetzwerkes ist die Installation einfach und schnell. Kein Verlegen von Kabeln und kein wartungsintensiver Austausch von Batterien. Durch die Vernetzung der Sensoren und die Verbindung in die Cloud können die aktuellen CO₂ Werte zentral eingesehen und auch der Verlauf beurteilt werden. Durch Verknüpfung mit den Lüftungsmaßnahmen können Handlungsanweisungen für eine optimale Lüftung abgeleitet werden. In Gebäuden mit eingebauter Lüftungstechnik können die Messdaten über eine Cloud Schnittstelle zur Regelung der Lüftung verwendet werden.

1. Übertragung von Covid-19 über Aerosole

Kürzlich wurde von einem Forscherteam der Universität Florida explizit nachgewiesen, dass hochinfektiöse Viren über Aerosole verbreitet werden können und dass damit eine Ansteckung über die Atemluft möglich ist [1]. Die Folgen können gravierend sein.

Aerosole sind kleinste Flüssigkeitspartikel die während des Ausatmens, Sprechens und Singens an die Umgebungsluft abgegeben werden und dort auch mehrere Minuten verweilen können. Wie hoch das Ansteckungsrisiko durch virenbeladene Aerosolpartikel in der Luft ist, hat das Forscherteam um

Martin Kriegel, Leiter des Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin, untersucht. Je mehr virenbelastete Partikel in der Luft sind, desto höher ist das Ansteckungsrisiko. Ebenfalls spielt die Verweildauer in virenbelasteter Luft eine große Rolle, da das Ansteckungsrisiko abhängig ist von der Anzahl eingeatmeter Viren [2].

In der Studie wurden typische Situationen in Büros und Klassenzimmern simuliert. Dabei zeigte sich, dass in schlecht gelüfteten Räumen bei hoher Virenabgabe durch eine an Covid-19 erkrankten Person die Aufenthaltsdauer bis zum Erreichen kritischer Dosen je nach Raumgröße zwischen 35 Min und 90 Min beträgt. Wie viele Viren nötig sind, um eine Infektion auszulösen ist derzeit noch nicht bekannt. Das Robert-Koch-Institut spricht aber von einem hohen Ansteckungsrisiko in schlecht belüfteten Räumen.



Aerosole können durch Singen, Reden und sogar Atmen entstehen. Quelle: dpa

2. CO₂ Wert als Messgröße für den Gehalt von Aerosolen

Eine wichtige Maßnahme zur Senkung der Aerosolkonzentration ist das regelmäßige Lüften der Räume. Die direkte Messung der Aerosolkonzentration ist technisch sehr aufwändig und die Messgeräte sind entsprechend teuer. Während des Atmens erzeugen wir neben Aerosolpartikel das Gas CO₂. In einer weiteren Untersuchung am Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin wurde die CO₂ Konzentration als eine geeignete Größe für die Risikobewertung von virenbeladenen Aerosolen identifiziert [3]. Martin Kriegel empfiehlt die Anschaffung von CO₂ Messgeräten, da sie indirekt Auskunft darüber geben, wieviele Aerosole sich im Raum befinden [4].

Wo kann die Luft zum Risiko werden ? Die Situation in Schulen, Büros, Krankenhäusern und im Nahverkehr

In geschlossenen Räumen ist eine Ansteckung über Aerosolpartikel deutlich höher als draußen. Wesentliche Faktoren sind die Anzahl von Personen und deren Aufenthaltsdauer, sowie die Größe der Räume und die Frischluftzufuhr. Aufgrund der besonders hochwertigen Filter in den Lüftungssysteme von Krankenhäusern und z.B. Flugzeugen ist das Ansteckungsrisiko geringer als in

potenziell schlecht gelüfteten Büros, Klassenzimmern und öffentlichen Verkehrsmitteln. Wie Untersuchungen zeigen, können die Schwankungen in der Luftqualität hier sehr groß sein.

2.1 Situation in Schulen

16.08.2020 (Welt) „Zwölf Schulen in NRW von Schließungen betroffen - Die Grünen-Chefin Annalena Baerbock forderte Konzepte zum Lüften im Klassenzimmer“ [5].

Untersuchungen an Schulen zur Luftqualität haben schon vor Ausbruch der Corona Pandemie gezeigt, dass die Luftqualität in Klassenräumen besonders schlecht sein kann. Das Augenmerk der Studien lag auf den Auswirkungen der Luftqualität und insbesondere des CO₂ Gehaltes auf die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit. Nach einer Studie von Heinz-Dieter Neumann von der Unfallkasse NRW, Düsseldorf wurden in 363 Klassenräumen von 111 Schulen in 50 % der Fälle CO₂ Werte von mehr als 2000 ppm gemessen. Dieser Wert wird vom Umweltbundesamt bereits als hygienisch inakzeptabel bezeichnet. Nach Berechnungen von Martin Kriegel halbiert sie die maximale Aufenthaltsdauer bis zum Erreichen einer Grenzdosis von 30 auf 15 Minuten, wenn die CO₂ Konzentration von 1000ppm auf 2000ppm ansteigt.



2.2 Situation in Büros

Der Corona-Ausbruch in einem Südkoreanischen Callcenter mit fast 100 infizierten verdeutlicht, dass Lüftung bei der Ausbreitung des Virus eine Rolle spielt [6]. Nach den Untersuchungen von Martin Kriegel, dauert es nur Minuten, bis infektiöse Aerosolpartikel im Büro verteilt sind. Zwar gibt es in normalen Büros keine aerosolfreie Luft, jedoch kann über Lüftungsanlagen oder gezielte Lüftung durch Öffnung der Fenster eine deutliche Verbesserung der Luftqualität erzielt werden. Da der Mensch keine Sinnesorgane für CO₂ oder Aerosole hat, wird die Anschaffung von CO₂ Sensoren

empfohlen [7]. Ein anschauliches Erklärvideo zur Ausbreitung von Sars-Cov-2 Viren über Aerosole der Zeit ist [hier](#) zu finden[8].



2.3 Situation in öffentlichen Verkehrsmitteln

Der starke Rückgang in der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel seit Ausbruch der Corona Pandemie macht die Verunsicherung bei den Fahrgästen deutlich. Aufgrund des sich ändernden Standes der Forschung ist eine Entkräftung dieser Bedenken nicht möglich. Züge sind derzeit zwar teilweise mit Klimageräten ausgestattet, diese besitzen jedoch nicht die hochwertigen sogenannten HEPA Filter, wie sie in Krankenhäusern und Flugzeugen im Einsatz sind. Bezüglich der Anforderungen an die Luftqualität in Zügen verweist das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) auf die von der Europäischen Kommission festgelegten Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität „Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen“ (TSI LOC&PAS) [9].

Entscheidend nach dieser Spezifikation ist, dass „für die Gesundheit der Fahrgäste oder des Personals keine Gefahr entsteht, die über die Risiken aufgrund der Luftqualität außerhalb des Fahrzeugs hinausgeht.“ Aus den zu erfüllenden Anforderungen wird jedoch deutlich, dass die Gefahr einer Infektion über Aerosolpartikel noch nicht berücksichtigt wurde: „Ein Lüftungssystem muss unter Betriebsbedingungen im Innern des Fahrzeugs eine akzeptable CO₂- Konzentration gewährleisten“.

„Die CO₂-Konzentration darf unter allen normalen Betriebsbedingungen einen Wert von 5 000 ppm nicht überschreiten.“ Die Grundlage für diesen CO₂ Grenzwert stellt hierbei keine Messung dar, sondern er wird auf Basis eines standardisierten Auslastungsgrades ermittelt. Eine Messung der CO₂ Konzentration im Fahrgastbereich ist demzufolge nicht erforderlich und entsprechende Sensoren sind üblicherweise heute nicht verbaut.

Dass es mit der Luftqualität in Zügen nicht bestens bestellt ist zeigt ein Bericht aus der Schweiz aus dem Jahr 2017. In einer Erhebung der Zeitschrift «Ktipp» betrug in neun von 20 untersuchten Zügen

die Kohlendioxid-Konzentration mehr als 1500 ppm. Daraus lässt sich auf eine Aerosolkonzentration zurückschließen, die bei Kontamination mit Viren zu einem erhöhten Ansteckungsrisiko führt [10]. Das Ausbreitungsverhalten von Aerosolen in Zugabteilen wird derzeit detailliert vom DLR in Göttingen untersucht [11]. Als Reaktion auf die Corona Pandemie hat die französische Bahn SNCF den Wechsel mit Frischluft veröffentlicht, der im TGV alle 9 Minuten und in IC-Zügen alle 6 Minuten erfolgt [12]. Beim ICE erfolgt ein vollständiger Luftaustausch ca. alle 7,5 Minuten. Die besonders leistungsfähigen Hepa Filter werden in ICEs nicht eingesetzt [13].

Nach den bereits geschilderten neuesten Erkenntnissen ist CO₂ Konzentration in der Luft eine hilfreiche Messgröße zur Bestimmung der Aerosolkonzentration und demzufolge zur Abschätzung des Ansteckungsrisikos bei virenbelasteten Aerosolen. CO₂ Sensoren für die Steuerung der Lüftung kommen jedoch nur bei neusten Zügen, wie z.B. in der Mittelrheinbahn zum Einsatz. Dies ist nach heutigen Erkenntnissen die beste Regelgröße für die Einstellung der Lüftung [14].

Aufgrund der unterschiedlichen Ausstattung der Vielzahl an Zugtypen und der bisher noch nicht etablierten Messung der CO₂ Konzentration als Maß für das Infektionsrisiko bleibt beim Fahrgast eine Verunsicherung. Die Messung und transparente Kommunikation der Luftqualität ermöglicht es Vertrauen in die Sicherheit aufzubauen. Auch hier müssen weitere Erkenntnisse gewonnen werden, dies ist jedoch nur möglich auf Basis einer sicheren Datengrundlage. Die flächendeckende kontinuierliche Messung der CO₂ Konzentration in Zügen und eine darauf basierende Lüftung ist daher sinnvoll.



Auch die Berliner S-Bahn fährt im Sommer mit offenen Fenstern: Klimaanlage gibt es in den Waggons nicht. Erst neuere Modelle, die in einigen Jahren auf den Markt kommen, sollen damit ausgestattet werden [15].

3. Die Grenzen allgemeiner Lüftungsempfehlungen

Allgemeine Lüftungsempfehlungen sind ein erster Schritt. Von der Berufsgenossenschaft BGHM werden im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung im Sinn des SARS-CoV-2 Arbeitsschutzstandards Maßnahmen für Büros und Arbeitsstätten empfohlen. Sind keine Lüftungsanlagen vorhanden spricht man von natürlicher Lüftung.

- So viel Außenluft wie möglich in genutzte Räume einbringen. Die Menge der benötigten Außenluft richtet sich nach der Personenzahl. Ziel ist es, möglichst wenige Personen in großen Bereichen zu verteilen. Generell sollte der Aufenthalt in dicht besetzten und schlecht gelüfteten Räumen vermieden werden.
- Räume vor Benutzung mindestens 15 Minuten lüften. Sie sollten Räume mindestens 15 Minuten lüften, bevor sie benutzt werden, besonders dann, wenn sich zuvor dort andere Personen aufgehalten haben.
- In Räumen ohne technische Lüftung sollten die Fenster wesentlich öfter als üblich geöffnet werden. Üblich ist in Büroräumen das stündliche Öffnen von Fenstern für einige Minuten (siehe ASR A3.6). Aufgrund der aktuellen Situation ist ein Rhythmus von 20 Minuten angemessen. Thermische Unbehaglichkeit müssen Sie zugunsten des Gesundheitsschutzes in Kauf nehmen.

Sind Lüftungsanlagen vorhanden (technische Lüftung) so wird bereits empfohlen, bei CO₂-gesteuerten Anlagen einen Zielwert möglichst nahe an 400 ppm einzustellen. Dies entspricht der CO₂ Konzentration der Außenluft [16]. Die Wirksamkeit der durchgeführten Lüftungsmaßnahmen ist aufgrund der unterschiedlichen Raumtypen und der wechselnden Umgebungsbedingungen wie Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen, sowie schwankender Luftbewegungen erwartungsgemäß unterschiedlich. Es bleibt eine Unsicherheit. Insbesondere bei der Nutzung von Räumen durch unterschiedliche Personengruppen ist ein Nachweis der erfolgten Lüftung sinnvoll.

4. CO₂ Ampeln ermöglichen ein gezieltes Lüften und reduzieren somit die Ansteckungsgefahr

Ein Ampelsystem für CO₂ Grenzwerte wurde bereits in der DIN Norm EN 16798-1 festgelegt. Werte bis 1000 ppm liegen im grünen Bereich, Werte bis 2000 ppm im gelben und Werte darüber im roten Bereich. Auch ein Aufenthalt bei 1000 ppm kann in virenbelasteter Luft nach längerer Zeit zu einem Erreichen der Grenzdosis führen, sodass ein regelmäßiges starkes Lüften notwendig ist. CO₂ Sensoren können in Form einer CO₂ Ampel vor einer zu hohen CO₂ Konzentration und dementsprechend einer potenziell zu hohen Aerosolkonzentration und damit verbundenen erhöhten Infektionsgefahr warnen und eine Aufforderung zum Lüften geben. Ampeln stellen eine Momentaufnahme dar. Da das Ansteckungsrisiko sowohl von der Konzentration der Aerosole, als auch von der Verweildauer abhängig ist, können erst auf der Basis kontinuierlicher, flächendeckender Messungen der CO₂ Konzentration erfolgreich Lüftungskonzepte entwickelt werden. Diese müssen ggf. von Raum zu Raum und auch spezifisch für die Jahreszeit angepasst werden.

5. Gute Luft auch nach der Überwindung der Corona Pandemie

Wir alle wünschen uns, dass möglichst schnell ein Impfstoff gefunden wird und durch eine weltweite Verfügbarkeit die Corona Pandemie überwunden wird. Wie lange dies dauert ist derzeit nicht vorhersehbar. Die schlechten Auswirkungen belasteter Atemluft auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit sind bereits seit vielen Jahren bekannt. Die Maßnahmen, die heute zu einer Verringerung des Ansteckungsrisikos durch eine Verbesserung der Luftqualität getroffen werden, sind auch nach Überwindung der Corona-Krise von hohem Wert. Vergleichbar mit der

Beschleunigung der Digitalisierung sollte auch die Verbesserung der Luftqualität in Innenräume als eine Chance betrachtet werden.

6. Mit Enerthing das Infektionsrisiko in Büros und Schulen verringern - Schnelle Implementierung der CO₂ Messung zur Entwicklung von Lüftungskonzepten und raumaufgelöster Steuerung von Lüftungsanlagen

Mit Enerthings Lösung kann das Infektionsrisiko überall dort verringert werden wo Menschen in geschlossenen Räumen zusammenkommen. Dies sind Schulen, Bürogebäude, Restaurants, Veranstaltungsorte und Kulturstätten. Ein Vorteil ist die schnelle und kostengünstige Installation der funkbasierten Sensoren. Dafür wurde Enerthing Anfang des Jahres mit dem Smart Home Award 2020 als bestes Start-up ausgezeichnet. Unsere Lösung vernetzter CO₂ Sensoren ist sowohl für Gebäude ohne Lüftungsanlage, wie z.B. Schulen oder ältere Bürogebäude als auch für Gebäude mit einer technischen Lüftungsanlage geeignet.

Gebäude mit natürlicher Lüftung – Die Lüftung erfolgt hier manuell über das Öffnen und Schließen der Fenster. Handmessgeräte zur Ermittlung des CO₂ Wertes ermöglichen durch eine sogenannte CO₂ Ampel eine kurzfristige Reaktion auf die Verschlechterung der Luftqualität. Für die Implementierung von Lüftungskonzepten in Gebäuden mit vielen Räumen und einer größeren Anzahl von Nutzern sind sie jedoch weniger geeignet. Enerthings Sensoren sind vernetzt und speichern die Daten zentral in der Cloud. Dort sind sowohl die momentanen Werte über Endgeräte wie Smartphones, Laptops oder Tablet Computer unabhängig vom Ort einsehbar. Zusätzlich wird durch LEDs in den CO₂ Sensoren das Erreichen von Schwellwerten angezeigt. Erst auf Basis kontinuierlicher Messungen und deren Analyse können Lüftungskonzepte entwickelt und verbessert werden. Durch Abruf der historischen Daten kann der Nachweis für eine gute Lüftung erbracht werden. Insbesondere in kühleren Jahreszeiten ist ein optimiertes Lüftungskonzept erforderlich, welches zugleich die gesundheitliche Sicherheit, ein angenehmes Raumklima und Energieeffizienz in Einklang bringt.

Gebäude mit technischer Lüftungsanlage – Die Empfehlung von der Berufsgenossenschaft BGHM zur Reduktion des Infektionsrisikos ist eine Regelung der Lüftung möglichst nahe an 400 ppm CO₂ Konzentration [16]. Nur wenige Lüftungsanlagen messen, wenn überhaupt, den CO₂ Wert in der zentralen Abluft. Mit nur einem Sensor würde die Anlage unter hoher Last fahren, um den CO₂ Wert von Draußen mit 400 ppm zu erreichen. Dies ist insbesondere in kühleren Jahreszeiten energetisch sehr ineffizient. Die Messung der CO₂ Konzentration auf Raumebene ermöglicht eine gezielte Regelung der Steuerungsklappen und ist entsprechend energieeffizienter. Die Ausstattung der technischen Lüftungsanlage oder der Räume mit klassischen CO₂ Sensoren ist aufgrund der erforderlichen Verkabelung sehr aufwändig und entsprechend teuer. Batteriebetriebene Funksensoren führen aufgrund des hohen Energieverbrauchs der CO₂ Messung zu häufigen Batteriewechseln und sind daher oftmals unwirtschaftlich.



Enerthings smarte CO₂ Messlösung zur zentralen Erfassung der Luftqualität als Basis für eine raumbasierte Lüftungssteuerung und zur Entwicklung effektiver Lüftungskonzepte.

Enerthings Lösung zur Erfassung der Raumluftqualität in Schulen und Bürogebäuden ist einzigartig. Durch den photovoltaischen Betrieb des Sensornetzwerkes ist die Installation einfach und schnell. Kein Verlegen von Kabeln und kein wartungsintensiver Austausch von Batterien. Durch die Vernetzung der Sensoren und die Verbindung in die Cloud können die aktuellen CO₂ Werte zentral erfasst und über entsprechende Schnittstellen an die Lüftungssteuerung übergeben werden. Zusätzlich werden die Messdaten in der Cloud gespeichert und können für Analysen genutzt werden.

Quellen

- [1] <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.08.03.20167395v1>
- [2] https://blogs.tu-berlin.de/hri_sars-cov-2/wp-content/uploads/sites/154/2020/07/hartmann_kriegel_2020_parameterstudie.pdf
- [3] https://blogs.tu-berlin.de/hri_sars-cov-2/wp-content/uploads/sites/154/2020/07/hartmann_kriegel_2020_de_v2.pdf
- [4] <https://www.wiwo.de/technologie/forschung/coronavirus-es-dauert-nur-minuten-bis-corona-aerosole-ueberall-im-buero-verteilt-sind/26082728.html>
- [5] <https://www.msn.com/de-de/nachrichten/panorama/zw%C3%B6lf-schulen-in-nrw-von-schlie%C3%9Fungen-betroffen/ar-BB17ZDXi?ocid=msedgntp>
- [6] <https://www.svlw.ch/739-bueroluft-gibt-coronaviren-aufwind>
- [7] <https://www.wiwo.de/technologie/forschung/coronavirus-es-dauert-nur-minuten-bis-corona-aerosole-ueberall-im-buero-verteilt-sind/26082728.html>

- [8] <https://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2020-08/aerosole-forschung-coronaviren-luft-studie-hochansteckend-virus-uebertragung>
- [9] <https://www.welt.de/wirtschaft/article207746647/Corona-Uebertragung-per-Klimaanlage-Deutsche-Bahn-schweigt-bei-Filter-Frage.html>
- [10] <https://www.svlw.ch/391-dicke-luft-in-zuegen>
- [11] <https://www.hna.de/lokales/goettingen/goettingen-ort703337/corona-goettingen-niedersachsen-viren-forschung-verbreitung-test-flugzeug-zug-reise-zr-13782905.html>
- [12] <https://www.sncf.com/de/fahrgast-angebote/mit-dem-zug-reisen/covid-19-und-klimatisierung>
- [13] <https://www.quarks.de/gesundheit/corona-sind-klimaanlagen-virusschleudern/>
- [14] <https://www.bahn-manager.de/zus%C3%A4tzliche-fahrzeuge-erm%C3%B6glichen-gr%C3%B6%C3%9Fere-kapazit%C3%A4ten-bei-der-mittelrheinbahn/>
- [15] <https://www.heise.de/autos/artikel/Senat-prueft-Klimaanlagen-Einbau-in-Berliner-U-Bahnen-4157802.html>
- [16] Quelle: Coronavirus-BGHM-Handlungshilfe-Lueftungstechnik