Die Bedeutung des CO2-Gehaltes in Bezug auf virenbeladene Aerosole

Um in Seminarräumen, Hörsälen oder Klassenzimmer das Risiko von einer Vireninfektion gering zu halten, ist eine gute Durchlüftung des jeweiligen Raumes nötig. Wie oft gelüftet werden sollte hängt von mehreren Parametern ab, welche sich gerade für Aerosole als kompliziert erweisen.   
Hierbei werden Modelle für die Tröpfchenbildung, deren Sinkgeschwindigkeit, sowie Effizienz der Masken und ähnliches zu Rate gezogen.

Um dennoch eine sinnvolle Belüftung von Räumlichkeiten zu gewährleisten, können bereits untersuchte Luftparameter wie der CO2-Gehalt in Arbeitsräumen genutzt werden. Für diese Annahme wird davon ausgegangen, dass je mehr CO­2 sich in der Luft befindet, desto höher ist das Risiko, dass bereits ausgeatmete Luft zusammen mit Aerosolen wieder eingeatmet wird.

Über den CO2-Gehalt kann somit eine indirekte Messung an Aerosolen erfolgen und entsprechende Messgeräte wie CO2-Ampeln auf ein Mindestmaß an Lüftung hinweisen.

Doch wie lässt sich nun der CO2-Gehalt in einem Raum bestimmen? Welche Kriterien für die maximale Konzentration sollen dabei eingehalten werden?

Quellen und weitere Informationen:   
<https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Coronavirus/Coronavirus-BGHM-Zusatzinformationen-Lueftungsverhalten.pdf>

<https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/11477/5/hartmann_kriegel_2020_de.pdf>

<https://www.zeit.de/wissen/gesundheit/2020-08/coronavirus-co2-sensoren-luft-innenraeume-lueften?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>

Die Pettenkofer-Zahl

Prof. Max Pettenkofer (1818-1901) definierte bereits 1858 eine anzustrebende Obergrenze für den CO2-Gehalt in einem Raum von 1000 ppm = 0,10 Vol.%. Dieser Grenzwert ist auch heute noch als *Pettenkofer-Zahl* bekannt.

Entstanden aus der Zeit der Industrialisierung und als technische Regel an Arbeitsstätten hinzugezogen, beweist sich auch heute noch die *Pettenkofer-Zahl* bzw. der CO2-Gehalt der Luft, als effektives Maß für die Bewertung der Luftqualität in Innenräumen.

In der Lüftungsnorm DIN 1946 Teil 2 wird ein maximaler Wert von 1500 ppm = 0,15 Vol.% angegeben.

Einflussgrößen für den CO2-Gehalt in einem Raum

Der CO2-Gehalt in Räumen hängt von verschiedenen Parametern ab, ähnlich wie der Aerosolgehalt. Untersuchungen des CO2-Gehaltes legen jedoch sehr verständliche Annahmen und Messwerte nahe, welche eine gute Durchlüftung zum Niedrighalten des Aerosolgehaltes bestimmen lassen.

**Aktivität**Je nach dem welche Aktivitäten die, sich im Raum befindlichen Personen ausüben wird pro Zeiteinheit ein höheres oder niedrigeres Maß an CO­2 freigesetzt. In der folgenden Tabelle 1 findet sich eine Auswahl solcher Volumenströme nach VDI 4300 Blatt 7.

Tabelle : CO2- Abgabe einer erwachsenen Person bei verschiedenen körperlichen Aktivitäten (VDI 4300 Blatt 7)

|  |  |
| --- | --- |
| **Aktivität** | **in** |
| Sitzende Tätigkeit | 15 – 20 |
| Leichte Arbeit | 20 – 40 |
| Mittelschwere Arbeit | 40 – 70 |
| Schwere Arbeit | 70 - 110 |

**Personenanzahl**Auch die Personenanzahl in einem Raum spielt eine wichtige Rolle. Je nachdem wie viele Personen sich in einem Raum befinden, wird die vorhandene Luft unterschiedlich schnell aufgebraucht und mit ausgeatmeter Luft ersetzt bzw. mit Aerosolen versehen.

**Zeit**  
Dieser Punkt versteht sich von selbst, denn je mehr Zeit vergeht, desto mehr Luft wird eingeatmet und desto mehr CO2 bzw. Aerosole werden ausgeatmet.

**Raumvolumen**Je größer der Raum ist, desto mehr Luftkapazitäten sind vorhanden. Je größer der Raum bei gleicher Personenzahl ist, desto geringer ist das Risiko Aerosole einzuatmen.

**Luftwechselzahl**Die Luftwechselzahl gibt an wie oft das komplette Raumvolumen innerhalb einer Stunde ausgewechselt wird. Sie ist also ein maßgeblicher Parameter zur Kontrolle des CO2-Gehaltes bzw. der Aerosole im Raum. Wie groß die Luftwechselzahl ist hängt dabei unter anderem von der Anzahl geöffneter Türen oder Fenster, sowie Belüftungsanlagen ab.

Tabelle 2: Lüftungszahlen für verschiedene Fensterlüftungen

|  |  |
| --- | --- |
| **Zustand** | **in** |
| Fenster zu, Türen zu | > 0,0 bis 0,3 |
| Fenster gekippt (Spaltlüftung) | > 0,3 bis 1,5 |
| Fenster kurzzeitig ganz geöffnet (Stoßlüftung) | > 0,3 bis 4,0 |
| Fenster ständig ganz geöffnet | > 9,0 bis 15,0 |

Quelle: <http://www.bosy-online.de/Richtig_lueften.htm>

**Alkalisches Mauerwerk**Auch das Mauerwerk kann für den CO2-Gehalt entscheidend sein, da dabei der verarbeitete Kalkmörtel (bestehend aus Sand, Löschkalk und Kies) zu Calciumcarbonat reagiert.

Rechnerisch den CO2-Gehalt und die Luftwechselzahl bestimmen

­­­­­Um die CO2-Konzentration mit bekannter Luftwechselzahl zu bestimmen ergibt sich mit der Hintergrundbelastung an CO2 aus der Umgebungsluft folgender Term:

… Innenraum Konzentration an CO2 in Vol.% zu einem Zeitpunkt t  
… Außen Konzentration an CO2 in Vol.% ( 4 Vol%)  
… Grenzkonzentration für   
N… Anzahl der Personen  
n… Luftwechselzahl in   
V… Raumvolumen in   
… spezifische Emissionsrate in   
t… Zeit in h

Herleitung der Gleichung für CO2-Konzentration

**Annahmen:** -Kompartimentmodell ist gültig  
 - Emissionsrate ist konstant

C

k2

k1

B

­­­ A

­­­­­­­

Wie lassen sich diese Kenntnisse nun nutzen, um den CO2-Gehalt zu bestimmen?

**Beispiel 1: Berechnung des CO2-Gehaltes für eine bestimmte Personenzahl zu einem bestimmten Zeitpunkt t**

Wie oft sollte nun gelüftet werden, um einer Verbreitung von Aerosolen vorzubeugen?

**Aufgaben:**   
In einem Seminarraum () befinden sich 30 Studenten. Sie führen sitzende Tätigkeiten aus mit einer CO2-Abgabe von . Laut DGUV, der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung, soll nach der folgenden Tabelle regelmäßig gelüftet werden. Die CO2-Konzentration in der Atmosphäre ist mit 0,04 Vol.% anzunehmen. Die Luftfeuchtigkeit wird nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Regelmäßiges Lüften zur Sicherheit vor Corona

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Winter** | **Sommer** |
| **Büroräume** | In 1 h für 3 min lüften | In 1 h für 10 min lüften |
| **Seminarräume** | In 20 min für 3 min lüften | In 20 min für 10 min lüften |

Quelle: <https://www.dguv.de/de/mediencenter/pm/pressearchiv/2020/quartal_3/details_3_405890.jsp>

1. Welche Konzentration an CO2 (ppm) liegt nach 1,5 h Vorlesung vor, wenn der Raum mit einer Luftwechselzahl von kaum gelüftet wird? (3530 ppm)
2. Nach dem letzten Block wird der Seminarraum gewechselt und einige Studenten sind bereits nach Hause gegangen. Im neuen Seminarraum () befinden sich nun nur noch 21 Studenten. In diesem Raum soll die Pettenkofer-Zahl nicht überschritten werden. Durch das Wechseln des Raumes geben die Studenten für die 45 min Seminar nun CO2 ab.   
   Wie hoch muss die Luftwechselzahl sein, um den geforderten Grenzwert einzuhalten?   
   (3,89 1/h)
3. Welche Luftwechselzahl ergibt sich für 15 Studenten im Raum aus 1a), wenn es Winter ist und die nötige Regelmäßigkeit der Lüftung zur Sicherheit vor Aerosolbildung einzuhalten ist? Reicht dieser Luftwechselzahl um den Grenzwert der DIN 1946-2 oder der Pettenkofer-Zahl einzuhalten?  
   Es wird davon ausgegangen, dass mit den Fenstern stoßgelüftet wird und entweder alle Fenster und Türen offen oder zu sind.

(reicht nicht für Pettenkofer oder DIN 1946-2, 0,32 1/h < 0,62 1/h < 1,74 1/h)

1. Werden die Grenzwerte im Sommer eingehalten?   
   (reicht nicht für Pettenkofer, aber für DIN 1946-2, 0,62 1/h < 1,08 1/h < 1,74 1/h)
2. Wie lang muss im Winter und im Sommer für c) und d) pro 20 min gelüftet werden um die Grenzwerte für Pettenkofer und DIN 1946-2 einzuhalten?  
   (Sommer/Winter: DIN mind. alle 20min 5,8 min lüften, Pettenkofer mind. alle 20 min 16,2 min lüften)