

# Die Bedeutung des CO<sub>2</sub>-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 gerade für Aerosole sich 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 CO<sub>2</sub>-Gehalt in Arbeitsräumen genutzt werden. Für diese Annahme wird davon ausgegangen, dass je mehr CO<sub>2</sub> sich in der Luft befindet, desto höher ist das Risiko, dass bereits ausgeatmete Luft zusammen mit Aerosolen wieder eingeatmet wird.

Über den CO<sub>2</sub>-Gehalt kann somit eine indirekte Messung an Aerosolen erfolgen und entsprechende Messgeräte wie CO<sub>2</sub>-Ampeln auf ein Mindestmaß an Lüftung hinweisen.

Doch wie lässt sich nun der CO<sub>2</sub>-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://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://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](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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Gehalt in einem Raum

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt in Räumen hängt von verschiedenen Parametern ab, ähnlich wie der Aerosolgehalt. Untersuchungen für den CO<sub>2</sub>-Gehalt liegen jedoch sehr verständliche Annahmen und Messwerte nahe, welche den CO<sub>2</sub>-Gehalt einfach bestimmen lassen.

## Aktivität

Je nach dem welche Aktivitäten die, sich im Raum befindlichen Personen ausüben wird pro Zeiteinheit ein höheres oder niedrigeres Maß an CO<sub>2</sub> freigesetzt. In der folgenden Tabelle 1 findet sich eine Auswahl solcher Volumenströme nach VDI 4300 Blatt 7.

*Tabelle 1: CO<sub>2</sub>- Abgabe einer erwachsenen Person bei verschiedenen körperlichen Aktivitäten (VDI 4300 Blatt 7)*

Aktivität	$\dot{V}_{CO_2}$ in $\frac{L}{h}$
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 unterschiedlich schnell die vorhandene Luft 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 CO<sub>2</sub> bzw. Aerosole werden ausgeatmet.

## Raumvolumen

Je größer der Raum ist, desto mehr Luftkapazitäten sind vorhanden. Je größer der Raum bei gleicher Personenanzahl ist, desto geringer ist das Risiko Aerosole einzusatmen.

## Luftwechselzahl

Die Luftwechselzahl gibt an wie oft das komplette Raumvolumen innerhalb einer Stunde ausgewechselt wird. Sie ist also ein maßgeblicher Parameter zur Kontrolle des CO<sub>2</sub>-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.

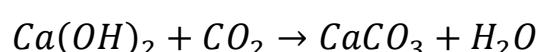
*Tabelle 2: Lüftungszahlen für verschiedene Fensterlüftungen*

Zustand	$n$ in $\frac{1}{h}$
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](http://www.bosy-online.de/Richtig_lueften.htm)

## Alkalisches Mauerwerk

Auch das Mauerwerk kann für den CO<sub>2</sub>-Gehalt entscheidend sein, da dabei der verarbeitete Kalkmörtel (bestehend aus Sand, Löschkalk und Kies) zu Calciumcarbonat reagiert.



Rechnerisch den CO<sub>2</sub>-Gehalt und die Luftwechselzahl bestimmen

Um die CO<sub>2</sub>-Konzentration mit bekannter Luftwechselzahl zu bestimmen ergibt sich mit der Hintergrundbelastung an CO<sub>2</sub> aus der Umgebungsluft folgender Term:

$$c_{CO_2}(t) = c_{CO_2, \text{außen}} + \frac{N * \dot{V}_{CO_2}}{10 * n * V} * [1 - e^{-n*t}]$$

$$n = \frac{N * \dot{V}_{CO_2}}{10 * V * [c_{CO_2}(t \rightarrow \infty) - c_{CO_2, \text{außen}}]}$$

$c_{CO_2}(t)$ ...	Innenraum Konzentration an CO <sub>2</sub> in Vol.% zu einem Zeitpunkt t
$c_{CO_2, \text{außen}}$ ...	Außen Konzentration an CO <sub>2</sub> in Vol.%
$c_{CO_2}(t \rightarrow \infty)$ ...	Grenzkonzentration für $t \rightarrow \infty$
N...	Anzahl der Personen
n...	Luftwechselzahl in $\frac{L}{h}$
V...	Raumvolumen in $m^3$
$\dot{V}_{CO_2}$ ...	spezifische Emissionsrate in $\frac{L}{h}$
t...	Zeit in h

Herleitung der Gleichung für CO<sub>2</sub>-Konzentration

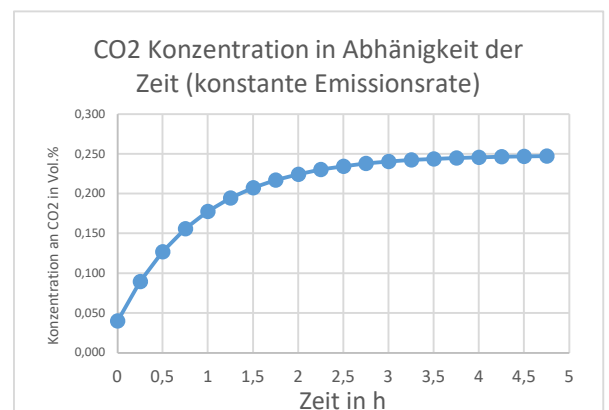
**Annahmen:** - Kompartimentmodell ist gültig  
- Emissionsrate ist konstant



$$\begin{aligned} \frac{dc_A}{dt} &= -k_1 * c_A \\ \frac{dc_B}{dt} &= k_1 * c_A - k_2 * c_B \\ \frac{dc_C}{dt} &= k_2 * c_B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{CO_2, \text{innen}}(t) &= \frac{N * \dot{V}_{CO_2}}{10 * n * V} * (1 - e^{-n*t}) \\ &= \frac{1}{k_2} * \frac{N * \dot{V}_{CO_2}}{10 * V} * (1 - e^{-k_2*t}) \\ &= \frac{\dot{V}_{CO_2}}{k_2} * \frac{N}{10} * (1 - e^{-k_2*t}) \\ &= \frac{k_1}{k_2} * c_{A,0} * (1 - e^{-k_2*t}) \end{aligned}$$

$$c_B = \frac{k_1}{k_2} * c_{A,0} * (1 - e^{-k_2*t})$$



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

### Aufgaben:

In einem Seminarraum ( $V = 200 \text{ m}^3$ ) befinden sich 30 Studenten. Sie führen sitzende Tätigkeiten aus mit einer  $\text{CO}_2$ -Abgabe von  $15 \frac{\text{L}}{\text{h}}$ . Laut DGUV, der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung, soll nach der folgenden Tabelle regelmäßig gelüftet werden. Die  $\text{CO}_2$ -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
<b>Büroräume</b>	In 1 h für 3 min lüften	In 1 h für 10 min lüften
<b>Seminarräume</b>	In 20 min für 3 min lüften	In 20 min für 10 min lüften

[https://www.dguv.de/de/mediencenter/pm/pressearchiv/2020/quartal\\_3/details\\_3\\_405890.jsp](https://www.dguv.de/de/mediencenter/pm/pressearchiv/2020/quartal_3/details_3_405890.jsp)

- Welche Konzentration an  $\text{CO}_2$  (ppm) liegt nach 1,5 h Vorlesung vor, wenn der Raum mit einer Luftwechselzahl von  $n = 0,1$  kaum gelüftet wird? (3530 ppm)
- Nach dem letzten Block wird der Seminarraum gewechselt und einige Studenten sind bereits nach Hause gegangen. Im neuen Seminarraum ( $V = 146 \text{ m}^3$ ) 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  $18 \frac{\text{L}}{\text{h}}$   $\text{CO}_2$  ab.  
Wie hoch muss die Luftwechselzahl sein, um den geforderten Grenzwert einzuhalten? (3,89 1/h)
- 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,  $0,32 \text{ 1/h} < 0,62 \text{ 1/h} < 1,74 \text{ 1/h}$ )
- Werden die Grenzwerte im Sommer eingehalten?  
(reicht nicht für Pettenkofer, aber für DIN 1946-2,  $0,62 \text{ 1/h} < 1,08 \text{ 1/h} < 1,74 \text{ 1/h}$ )
- 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)