

Kohlendioxid als Lüftungsindikator

Jeder Mensch atmet ständig Aerosole und CO₂ aus. Die Aerosole spielen bei der Infektion mit dem Corona-Virus eine große Rolle, können aber nur schwer gemessen werden. Die CO₂-Konzentration in Luft lässt sich hingegen einfach messen und gibt Hinweise nicht nur auf die Qualität der Raumluft sondern auch auf die Aerosol-Konzentration und damit auf ein mögliches Infektionsrisiko.

Beim Ausatmen werden kleinste Partikel freigesetzt, die durch das Vorbeiströmen der Atemluft an der feuchten Rachenwand entstehen. Diese Aerosole verteilen sich schnell gleichmäßig im Raum und können für einen längeren Zeitraum in der Luft schweben. Bei infizierten Menschen, sind die Aerosole mit Corona-Viren belastet, die sich im Rachen befinden. Leider ist nicht genau bekannt, wie groß die Viruslast in den Aerosolen der Atemluft von infizierten Menschen ist, d.h. wie viel Virus pro Sekunde ein infizierter Mensch in Aerosolen ausatmet.

Der CO₂-Anteil in der Atemluft hängt eng mit der Zahl der Aerosole zusammen. Der CO₂-Anteil in der ausgeatmeten Luft liegt bei Menschen recht konstant bei 4%, also 40 Milliliter pro Liter Atemluft. Jeder Mensch atmet zwischen 4 l/min in Ruhe und 50 l/min bei großer Anstrengung. Der CO₂-Anteil in einem Raum ist ein daher guter Indikator für die geatmete Menge Luft und damit auch für die Anzahl an Aerosolen und er lässt sich einfach messen.

In einer [Risikobewertung von mit Viren beladenen Aerosolen auf der Grundlage der CO₂-Konzentration](#) haben Wissenschaftler*innen des Herman-Rietschel-Instituts an der TU Berlin abgeschätzt, nach welchem Zeitraum eine Person, die sich mit einer ansteckenden Person in einem Raum aufhält, eine Grenzkonzentration von 3000 Viren eingeatmet hat. Aus der Influenza-Forschung ist bekannt, dass sich eine Person sehr wahrscheinlich nach der Aufnahme von 3000 Influenza-Viren angesteckt hat. Diese Zahl ist für die Infektion mit dem Corona-Virus nicht bekannt, die Annahme von 3000 Viren gibt aber einen Eindruck, welche Zeiträume bei Infektionen eine Rolle spielen. In der unten gezeigten Abbildung aus der Publikation lässt sich z.B. ablesen, dass bei einer CO₂-Konzentration von 1000 ppm (grüne Kurve), was gerade noch als frische Luft gilt, und einer Emissionsrate der ansteckenden Person von 200 Viren/s nach etwa 23 Minuten die Grenzkonzentration von 3000 aufgenommenen Viren erreicht ist. Dabei wurde angenommen, dass sich sowohl das CO₂ als auch die Aerosole gleichmäßig im Raum verteilt haben und sich in jedem Aerosol höchstens ein Virus befindet.

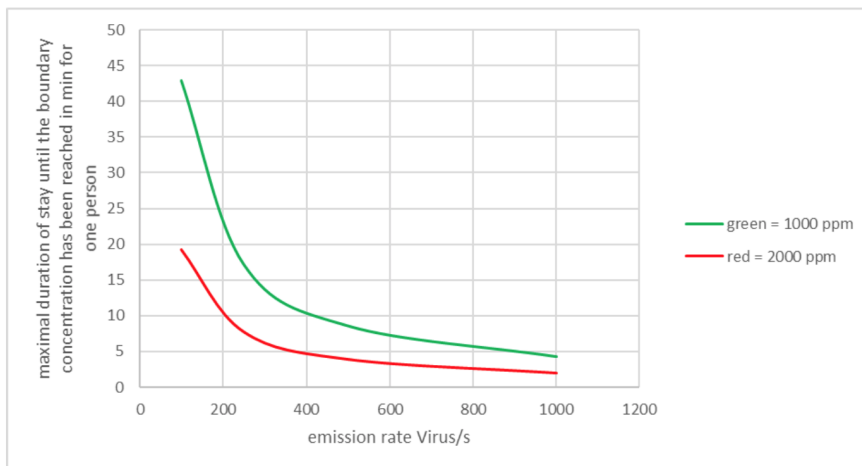


Figure 3: maximal duration of stay for one person in a room with one infected person

Es erscheint sinnvoll, den CO₂-Anteil der Raumluft als Hinweis zu nutzen, um in Räumen, an denen mehrere Menschen zusammenkommen, durch Lüften oder Einschränkung der maximalen Personenzahl die Belastung mit Aerosolen und damit das Infektionsrisiko gering zu halten.

Das Max-Planck Institut für Chemie hat auf einer [Web-Seite](#) einen Rechner zum Ansteckungsrisiko durch Aerosole zur Verfügung gestellt, der auch in einem [Artikel](#) der Wochenzeitschrift Die Zeit beschrieben wird.

Ein Modell für die CO₂-Konzentration in der Raumluft

Ein einfaches Modell für die zeitliche Entwicklung der CO₂-Konzentration in einem Raum, das im folgenden beschrieben wird, kann helfen, um die maximale Anzahl von Personen in einem Raum festzulegen oder eine gute Lüftungsstrategie zu entwickeln.

Vereinfacht hängt die CO₂-Konzentration in einem Raum im wesentlichen von der Rate, mit der Menschen CO₂ durch Atmung erzeugen, und der Rate, mit der die Raumluft gegen frische Luft ausgetauscht wird, ab. Der Luftaustausch kann über Fenster und Türen oder eine Lüftungsanlage, die Frischluft in den Raum bläst, stattfinden.

Wenn wir das Volumen des Raumes mit V , die Rate mit der Menschen CO₂ durch ihren Atem zuführen mit q , den Anteil des Volumens des Raumes, der in einer Zeiteinheit ausgetauscht wird, mit n und die CO₂-Konzentration der Frischluft mit c_a , bezeichnen, dann ergibt sich die zeitliche Änderung, d.h. die Zu- bzw. Annahme der CO₂-Konzentration $c(t)$ mit der Zeit zu

$$\frac{dc}{dt} = -nc + nc_a + \frac{q}{V}$$

Für den Fall, dass c_0 die CO₂-Konzentration zum Zeitpunkt $t = 0$ ist, lässt die obige Gleichung lösen:

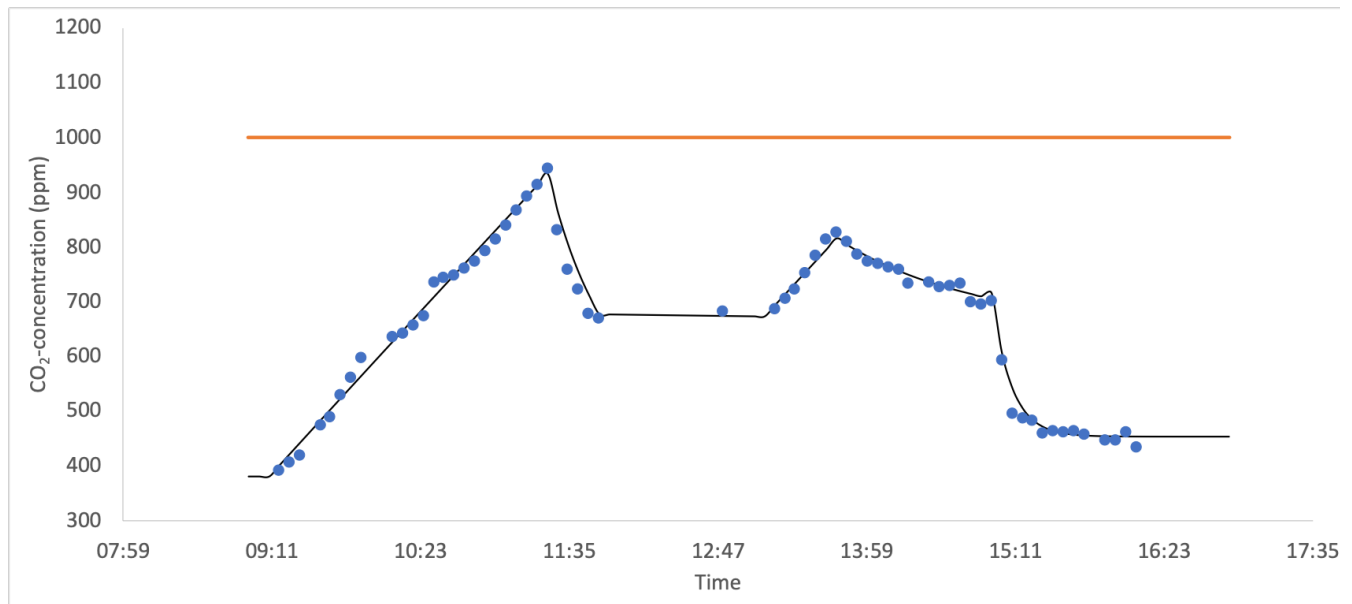
$$c(t) = \left(c_0 - c_a - \frac{q}{nV}\right) e^{-nt} + \left(c_a + \frac{q}{nV}\right)$$

Der Faktor $\frac{q}{nV}$ wird auch als Sättigungskonzentration bezeichnet.

Das Modell wurde einer einfachen **Excel-Tabelle** implementiert, die [hier](#) zur Verfügung steht.

Messung der CO₂-Konzentration in einem Büro

Nehmen wir als Beispiel einen **Raum mit einer Fläche von etwa 20 m² und einer Raumhöhe von 2,9 m**, in dem sich **eine Person** aufhält, die **ruhig arbeitet** und etwa 8-11 l/min atmet. Die anfängliche CO₂-Konzentration sei 380 ppm. In der Abbildung zeigen die blauen Punkte Messungen der CO₂-Konzentration über einen Tag, die schwarze Linie das oben beschriebene Modell und die orangene Linie die Grenzkonzentration für frische Luft von 1000 ppm CO₂.



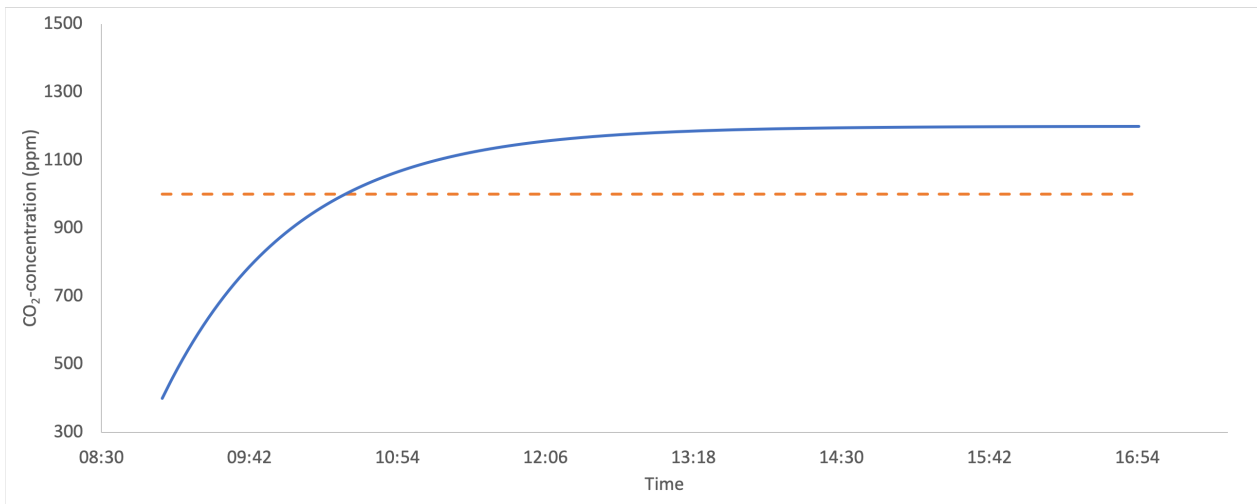
Der Verlauf der CO₂-Konzentration während der Messung erklärt sich aus den folgenden Änderungen:

Zeitraum	Anzahl Personen	Atemleistung [l/h]	Lüftung	Austauschrate n [h ⁻¹]
09:15 - 11:20	1	8 (ruhiges Arbeiten)	Fenster und Tür geschlossen	0,01
11:20 - 11:50	1	8	Zwei Fenster auf Kippe	2
11:50 - 13:15	0	0	Fenster und Tür geschlossen	0,01
13:15 - 13:50	1	8	Fenster und Tür geschlossen	0,01
13:50 - 15:00	1	8	Ein Fenster auf Kippe	0,9
15:00 - 17:00	1	11 (Videokonferenz)	Ein Fenster offen	5

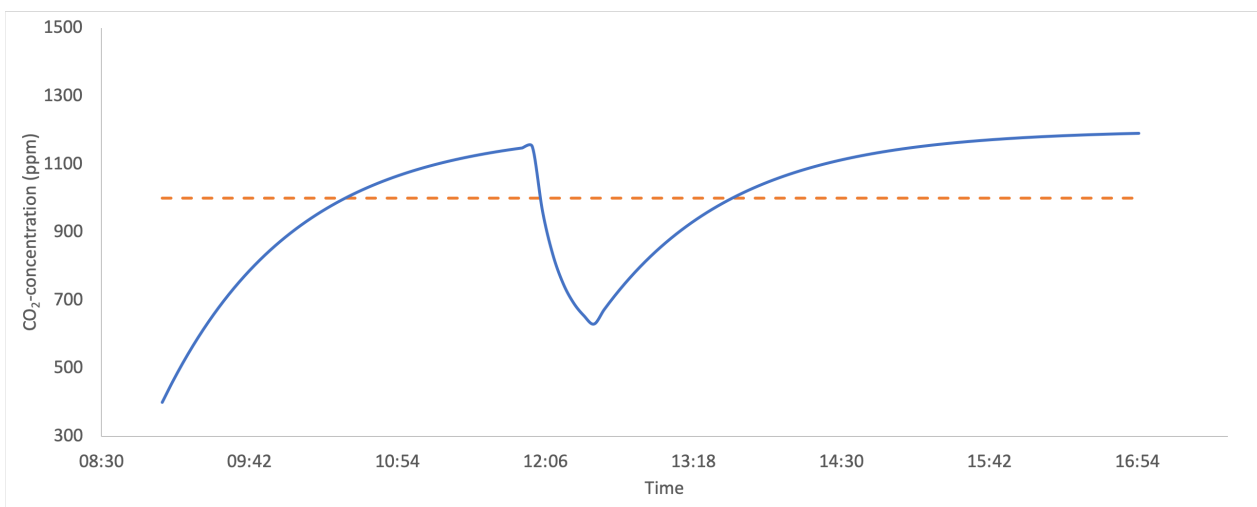
Das Modell beschreibt den Verlauf der CO₂-Konzentration recht gut und ermöglicht eine Schätzung der Austauschrate. Bemerkenswert ist, dass bei einer Austauschrate von 2 Raumvolumen pro Stunde (beide Fenster auf Kippe) auch nach einer halben Stunde die CO₂-Konzentration gerade mal von etwa 900 ppm auf etwa 600 ppm gefallen ist. Eine Austauschrate von 5 Volumina pro Stunde (offenes Fenster) führt erst nach 15 Minuten zu einem Abfall von etwa 600 ppm auf etwa 400 ppm, der Konzentration der Außenluft.

Eine Vorhersage für die CO₂-Konzentration in einem Büro

Damit kann die CO₂-Konzentration abgeschätzt werden, die sich ergibt, wenn z.B. **zwei Personen ruhig in dem oben beschriebenen Raum arbeiten** und die Tür geschlossen, aber die ganze Zeit ein Fenster gekippt ist. Das Ergebnis ist in der Abbildung gezeigt. Nach etwa drei Stunden stellt sich eine konstante CO₂-Konzentration von etwa 1200 ppm ein.

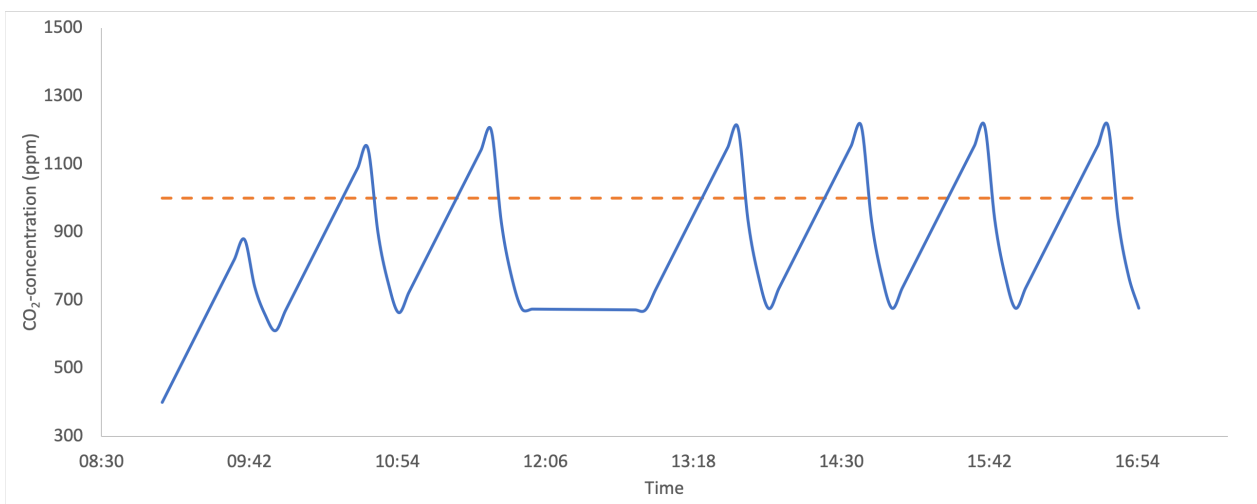


Wenn nach drei Stunden das Fenster für eine halbe Stunde vollständig geöffnet wird, zeigt sich der folgende Verlauf für die CO₂-Konzentration im Raum.



Ein gekipptes Fenster und Stoßlüften für 30 Minuten führt nicht zu einer guten Luftqualität in dem Raum.

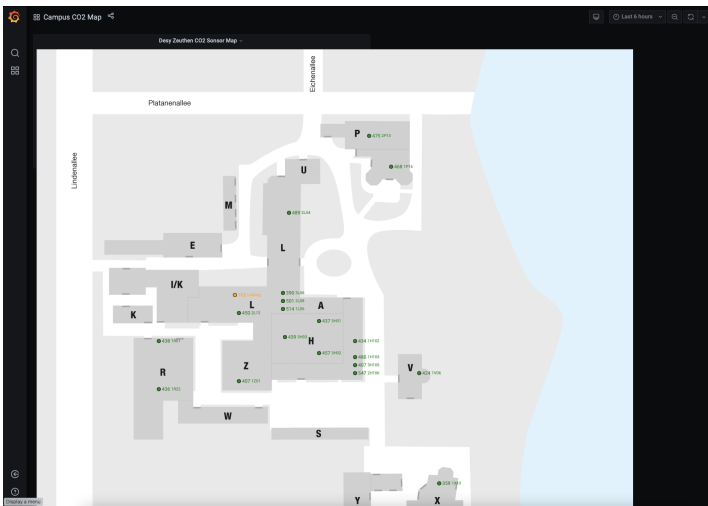
Das folgende Beispiel zeigt die CO₂-Konzentration in dem Raum mit zwei Personen wenn die Fenster geschlossen und jeweils nach 45 Minuten für 15 Minuten beide Fenster geöffnet werden. Um 12 Uhr haben die beiden Personen den Raum für eine Stunde verlassen. Die Fenster waren während der Mittagspause geschlossen.



Auch in diesem, im Herbst und Winter nur schwer umsetzbaren Szenario kann keine gute Raumluft eingestellt werden. Es zeigt sich, dass ein Raum mit einer Fläche von 20 m² zu klein ist, um im Herbst und Winter eine akzeptable Raumluft einzustellen. Sicherlich wird sich die Situation bei geöffneter Tür anders darstellen.

CO₂-Überwachung im Institut

Die Abbildung zeigt die CO₂-Überwachung im Institut, die über die interne Web-Seite [hier](#) abgerufen werden kann.



Zusammenfassung

Die Messung der CO₂-Konzentration kann im kommenden Herbst und Winter eine Hilfe sein, um hohe Konzentrationen von Aerosolen in Räumen oder Fluren zu verhindern und damit mögliche Infektionsrisiken zu minimieren. Aber auch ohne Corona-Virus ist die Messung der CO₂-Konzentration eine Hilfe, um daran erinnert zu werden, für frische Luft in den Räumen und Fluren des Instituts zu sorgen.