

# Parameterstudie zur Risikobewertung in Innenräumen durch virenbeladene Aerosole

Autoren: Anne Hartmann<sup>1</sup>, Martin Kriegel<sup>1</sup>,  
1: Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin, anne.hartmann@tu-berlin.de

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10414>

## Einleitung

Aufbauend auf dem aktuellen Stand des Wissens gelten Aerosole als ein wichtiger Übertragungsweg von SARS-CoV-2 Viren [1]. In vorhergehenden Untersuchungen wurden Messergebnisse für die Emissionsrate während des Atmens, Sprechens, Hustens [2] sowie Singens [3] präsentiert. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde eine Risikobewertung für Innenräume durchgeführt [4,5]. In diesen Studien wurde eine feste Rate von einem Virus pro Aerosol sowie eine kritische Dosis von 3.000 Viren betrachtet. Die Lebensdauer der Viren, die Anzahl der Viren je Aerosol sowie der kritischen Dosis sollen nachfolgend variiert werden und so deren Einfluss auf das Ergebnis aufgezeigt werden.

## Grundlagen

Die Konzentration an Aerosolen wird, wie in [5] ausführlich dargestellt, nach Gleichung (1) berechnet. Zusätzlich wird eine Gleichung für die absterbenden Viren nach Gleichung (2) und Gleichung (3) aufgestellt. Der genaue Verlauf des Absterbeprozesses ist unbekannt. Es wird daher davon ausgegangen, dass zunächst wenige Viren absterben und der Anteil mit zunehmender Zeit größer wird. Des Weiteren wird angenommen, dass zu Beginn alle betrachteten Aerosole einen Virus tragen ( $i_{\max}=1$ ). Der Verlauf ist in Abbildung 1 ersichtlich.

$$\begin{aligned} \Delta c_{Partikel,AZ}(t) &= \frac{f \cdot ((s)(1 - e) + (1 - s)) \cdot \dot{V}_{Q,Partikel,Mund/Nase} - \dot{V}_{i,V}}{\dot{V} \cdot \varepsilon_{Oz,Partikel}^C} \\ &\cdot (1 - e^{-(nt-SR)}) + \Delta c_{Partikel,AZ}(t - 1) \cdot e^{-(nt-SR)} \end{aligned} \quad (1)$$

mit:

$\Delta c_{Partikel,AZ}(t)$ ...Aerosolkonzentration in der Aufenthaltszone zum Zeitpunkt t

f...Anzahl infizierter Personen

s...Anteil der Personen, die eine Maske tragen

e... Effizienz der Maske

$\dot{V}_{Q,Partikel,Mund/Nase}$ ...Aerosolemission durch Mund und Nase in Partikel/s

$\dot{V}_{i,V}$ ...absterbende Viren in V/s

$\dot{V}$ ...Volumenstrom in m<sup>3</sup>/h

$\varepsilon_{Oz,Partikel}^C$ ...Lüftungseffektivität in der Aufenthaltszone

n...Luftwechsel in 1/h

t...Zeit in h

SR...Sedimentationsrate

$$\begin{aligned} \dot{V}_{IV} &= \sum_{t^*=0}^{t_{LD}} (i(t^* - 1) - i(t^*)) \cdot f \cdot ((s)(1 - e) + (1 - s)) \cdot \dot{V}_{Q,Partikel,Mund/Nase} \\ &\cdot e^{-(nt^*-SR)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$i(t) = -\frac{i_{max}}{t_{LD}^2} x^2 + i_{max} \quad (3)$$

mit:

$i(t)$ ... Infektiösität zum Zeitpunkt  $t$

$i_{max}$ ... Infektiösität zu Beginn

$t_{LD}$ ... Lebensdauer der Viren in h

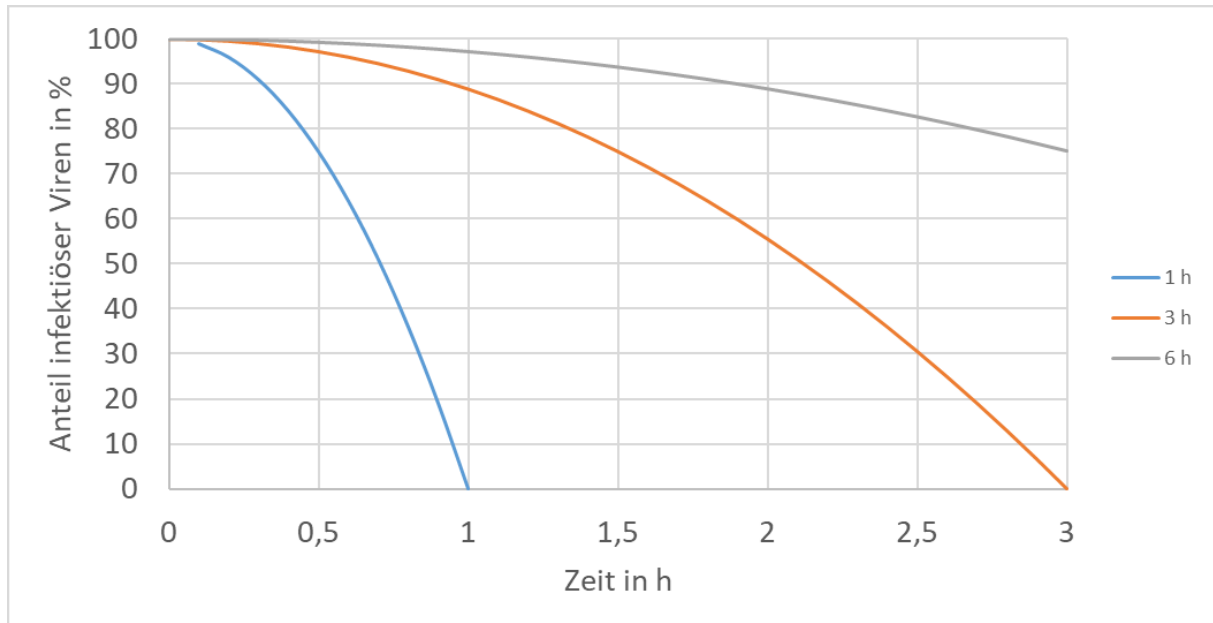


Abbildung 1: angenommener Verlauf der Infektiösität bei verschiedenen Lebensdauern

### Anwendungsfall – Szenario 1

Zur Untersuchung des Einflusses der Lebensdauer der Viren wird ein Anwendungsfall definiert. Die folgenden Randbedingungen sind dabei festgesetzt:

- 2-Personen-Büro mit  $V=60 \text{ m}^3$
- eine infizierte Person  $f=1$
- keine Masken  $s=0$
- ideale Mischlüftung  $\varepsilon_{oz,Partikel}^c = 1$
- keine Sedimentation  $SR=0$

Die folgenden Parameter werden in den angegebenen Grenzen variiert:

- Lebensdauer  $t_{LD}=1$  bis 6 h
- Luftwechsel  $n=0,1$  bis 5 1/h

Der Verlauf der potentiell infektiösen Virenkonzentration ist in Abbildung 2 ersichtlich. In Abbildung 2 ist die Emissionsrate auf 300 V/s festgesetzt und es ist erkennbar, dass die Lebensfähigkeit nur dann eine entscheidende Rolle spielt, wenn wenig Luftwechsel (gepunktete Fälle) vorhanden ist. Bei einem hohen Luftwechsel (gestrichelte Linien) sind kaum Unterschiede erkennbar.

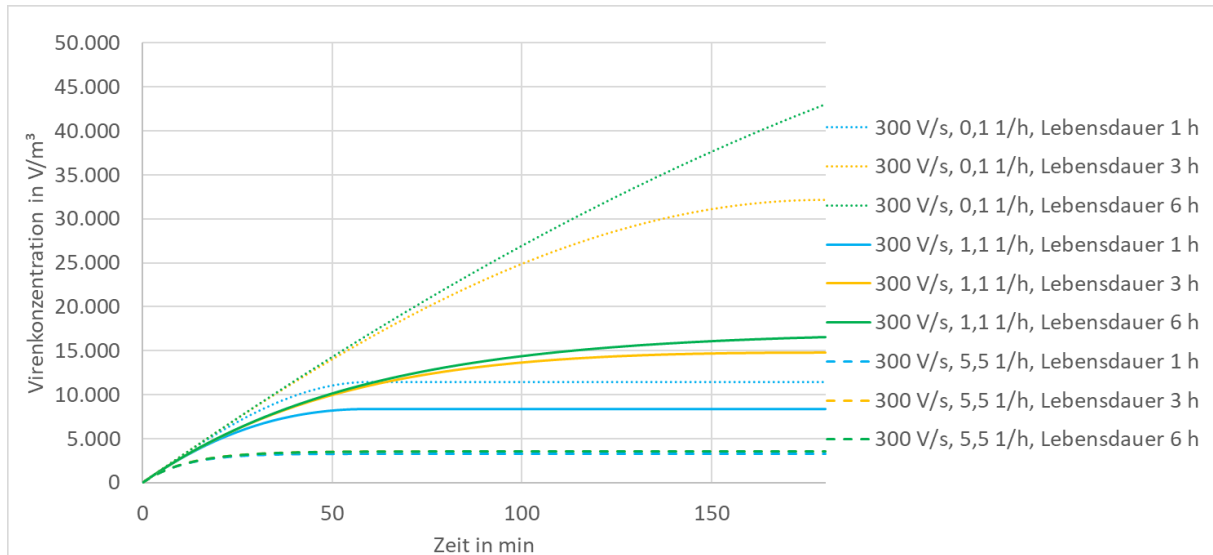


Abbildung 2: Einfluss der Lebensdauer der Viren und des Luftwechsels auf den Konzentrationsverlauf

### Anwendungsfall – Szenario 2

Aufgrund des geringen Einflusses der Lebensdauer der Viren wird diese in den nachfolgenden Betrachtungen vernachlässigt. Folgende Parameter werden in diesen Betrachtungen festgesetzt:

- Lebensdauer der Viren  $t_{LD} > t_{\text{Aufenthalt}}$  wird daher vernachlässigt
- eine infizierte Person  $f=1$
- keine Masken  $s=0$
- ideale Mischlüftung  $\varepsilon_{oz,Partikel}^C = 1$
- keine Sedimentation  $SR=0$
- $\dot{V}_{Q,Partikel,Mund/Nase} = 300P/s$

Variationen werden für die folgenden Parameter durchgeführt:

- Raumtyp:
  - 2-Personen-Büro ( $V=60 \text{ m}^3$ )
  - Großraumbüro ( $V=300 \text{ m}^3$ , Normalbelegung 16 Personen, aktuelle Belegung 8 Personen)
  - Klassenzimmer ( $V=250 \text{ m}^3$ , Normalbelegung 28 Schüler(innen) + 1 Lehrkraft, aktuelle Belegung 14 Schüler(innen) + 1 Lehrkraft)
- Luftwechsel  $n=0,1$  bis  $1 \text{ 1/h}$
- Viren je Aerosol 0,1 bis 1 sowie 10-fache Virenabgabe während der Erkrankung
- kritische Virendosis 300 bis 10.000 Viren

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3 bis 11 dargestellt.

Bei Betrachtung eines Klassenzimmers mit einem geringeren Luftwechsel (Abbildung 9) führt eine Reduktion der virenbeladenen Aerosole von einem Virus je Aerosol auf einen Virus auf jedem zweiten Aerosol zu einer Verlängerung der möglichen Aufenthaltsdauer von 36 min auf 51 min bei einer kritischen Virendosis von 300 Viren und von 223 min auf 324 min bei einer kritischen Virendosis von 10.000 Viren, dies entspricht einer Verlängerung um etwa 40-45 % je nach kritischer Dosis. Eine Erhöhung der kritischen Dosis von 300 Viren auf 3.000 Viren ermöglicht eine Verlängerung der Aufenthaltszeit von 118 min auf 406 min bei einem Virus auf jedem zehnten ausgeatmeten Aerosol und von 36 min auf 118 min bei einem Virus

je Aerosol. Die entspricht einer Erhöhung um etwa Faktor 3,3 nahezu unabhängig von der Anzahl der Viren je Aerosol.

Auch für die anderen beiden Raumtypen werden bei einem geringen Luftwechsel ähnliche Werte ermittelt.

Bei einem hohen Luftwechsel im Klassenzimmer (Abbildung 11) beträgt die Verlängerung der Aufenthaltszeit bei einer Reduktion der Anzahl der Viren von einem Virus je Aerosol auf einen Virus je zwei Aerosole je nach kritischer Dosis zwischen 48 % (kritische Dosis 300 Viren, von 40 min auf 59 min) und 88 % (kritische Dosis 10.000 Viren, von 430 min auf 807 min). Die Aufenthaltsdauer verlängert sich von 167 min bei 0,1 Viren/Aerosol und einer kritischen Dosis von 300 Viren auf einen Wert oberhalb von 10 h bei einer kritischen Dosis von mehr als 3.000 Viren. Bei einer 10-fach erhöhten Virenabgabe während der Erkrankung wird die Aufenthaltszeit von 11 min bei einer kritischen Dosis von 300 Viren auf 81 min bei einer kritischen Dosis von 10.000 Viren erhöht.

Hier ist auch ein deutlicher Einfluss der Raumgröße zu erkennen. Während in dem 2-Personen-Büro auch bei einer Erhöhung der kritischen Virendosis von 300 auf 3.000 Viren, einem Luftwechsel von 1 1/h und 0,1 Viren/Aerosole, die Aufenthaltszeit von 66 min auf 326 min (etwa Faktor 5) steigt, steigt sie im Großraumbüro von 191 min auf über 10 h. Bei einer hohen Virenabgabe (10-fach erhöhte Virenabgabe während der Erkrankung) liegt bei allen drei Räumen der Faktor bei etwa 3,6 und die maximale Aufenthaltszeit ist mit knapp 90 min selbst in den großen Räumen sehr gering und im 2-Personen-Büro mit 35 min noch deutlich kleiner.

### Zusammenfassung und Diskussion

In Ergänzung zu den bisherigen analytischen Betrachtungen wird gezeigt, dass je nach kritischer Dosis sowie Virenabgabe die Lüftung eine unterschiedliche Bedeutung hat. Während bei einer hohen Emissionsrate typische Luftwechselraten nur wenig an der maximalen Aufenthaltsdauer verbessern können, ist bei geringen Emissionsraten bereits mit wenig Frischluftzufuhr eine signifikante Wirkung zu erzielen. Zusätzlich spielt auch das Luftvolumen im Raum eine entscheidende Rolle. Je größer das Luftvolumen, desto länger kann die Aufenthaltsdauer sein.

Die Lebensdauer der Viren spielt dagegen nur bei einer sehr hohen Aerosol-Verweildauer und somit niedriger Luftwechselrate eine Rolle.

Es wird gezeigt, dass die Eingrenzung dieser Parameter (kritische Dosis sowie Viren pro Aerosol) von Seiten der Virologie einen entscheidenden Einfluss auf die Herangehensweise durch die Lüftung hat. Lediglich die Lebensdauer der Viren spielt bei normalen Aufenthaltszeiten nur in Räumen ohne Lüftung (weder Fensterlüftung noch maschinelle Lüftung, Luftwechsel 0,1 1/h) eine entscheidende Rolle und ist ansonsten vernachlässigbar. Dabei sollte jedoch in Betracht gezogen werden, dass die Aerosolkonzentration sehr schnell ansteigt und geschlossene Fenster keine Option sein sollten.

Aktuelle Studien bieten Anhaltswerte sowie eine Methodik, doch die Ergebnisse können in Realität erheblich abweichen.

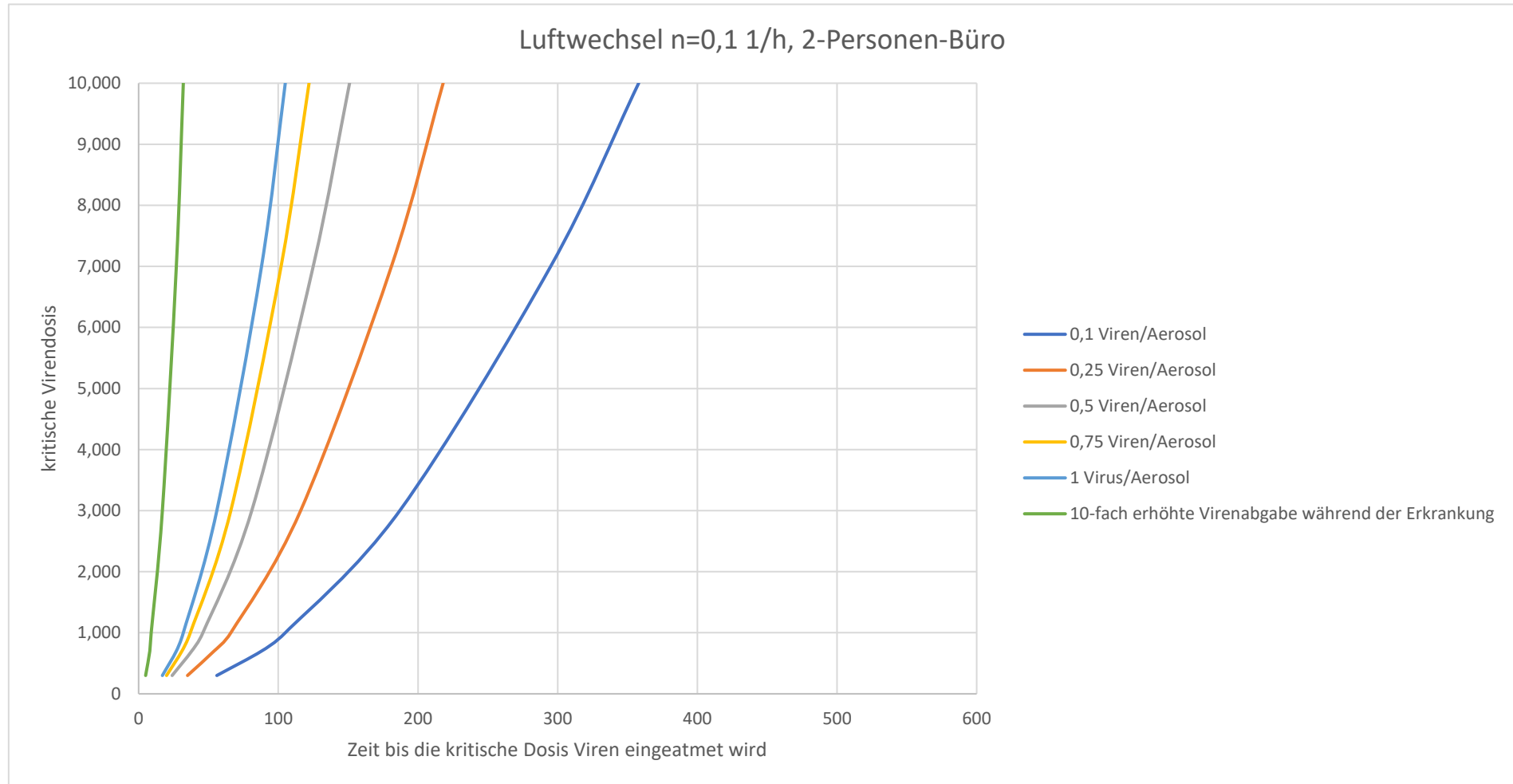


Abbildung 3: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=0,1$  1/h, 2-Personen-Büro

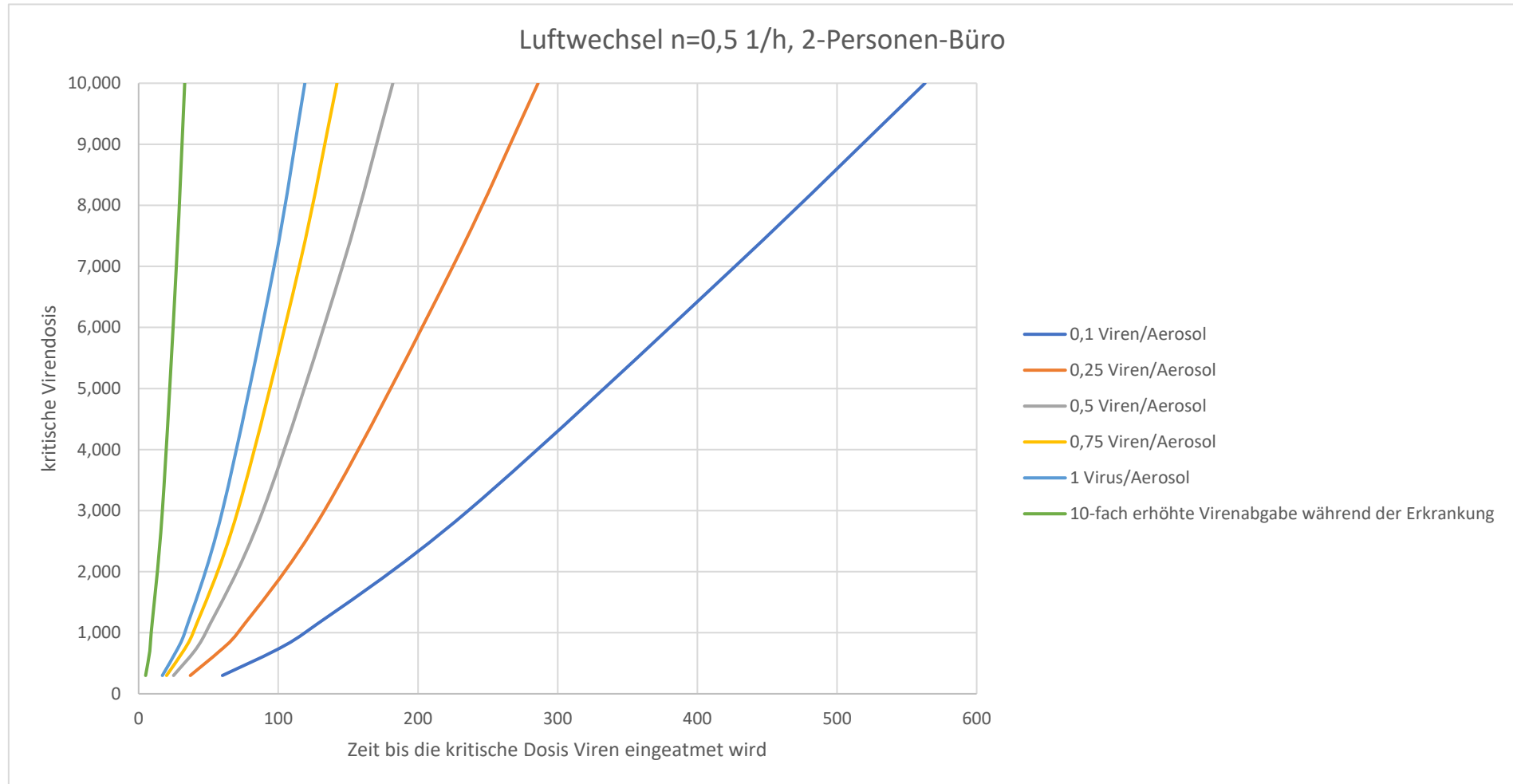


Abbildung 4: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=0,5$  1/h, 2-Personen-Büro

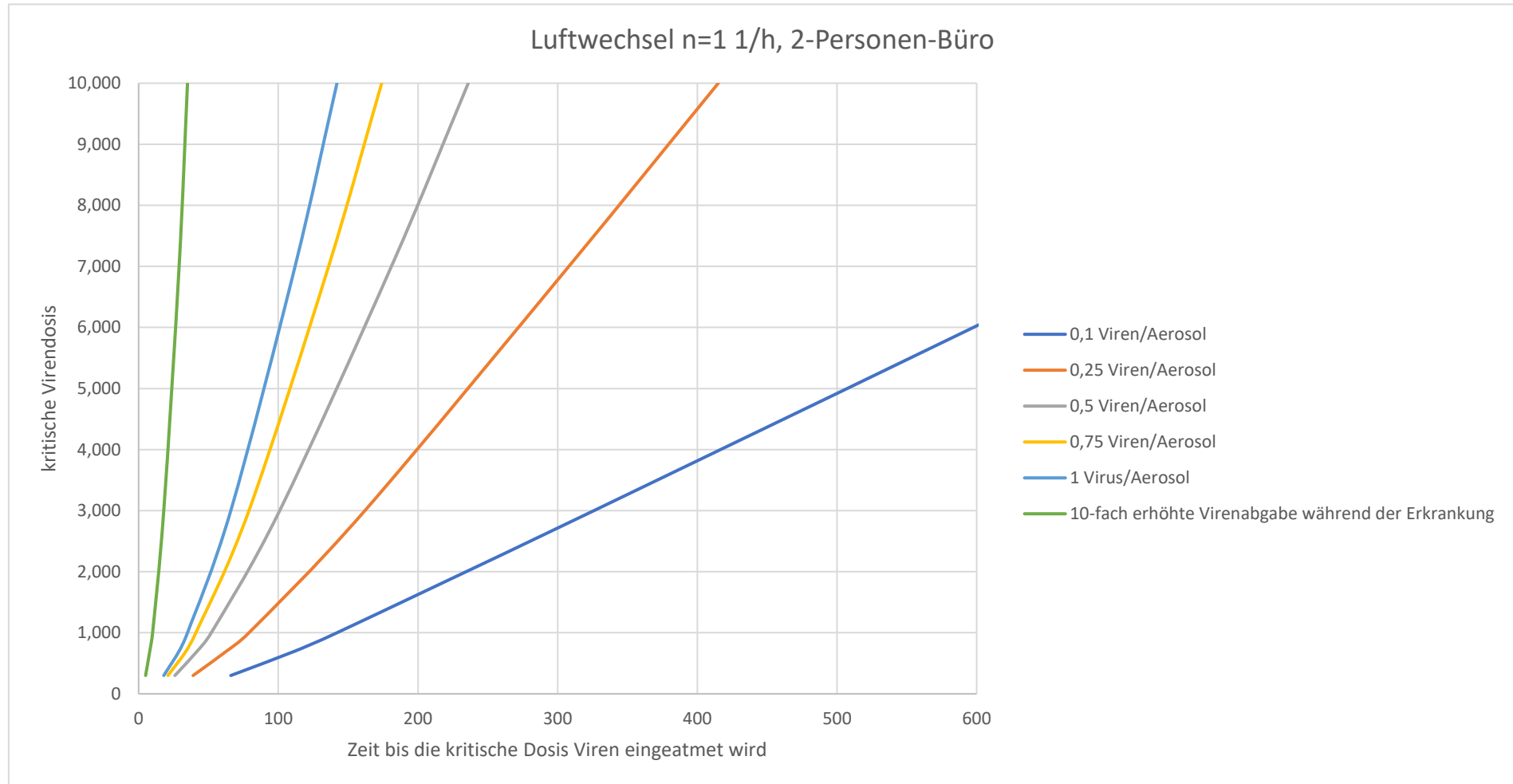


Abbildung 5: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=1$  1/h, 2-Personen-Büro

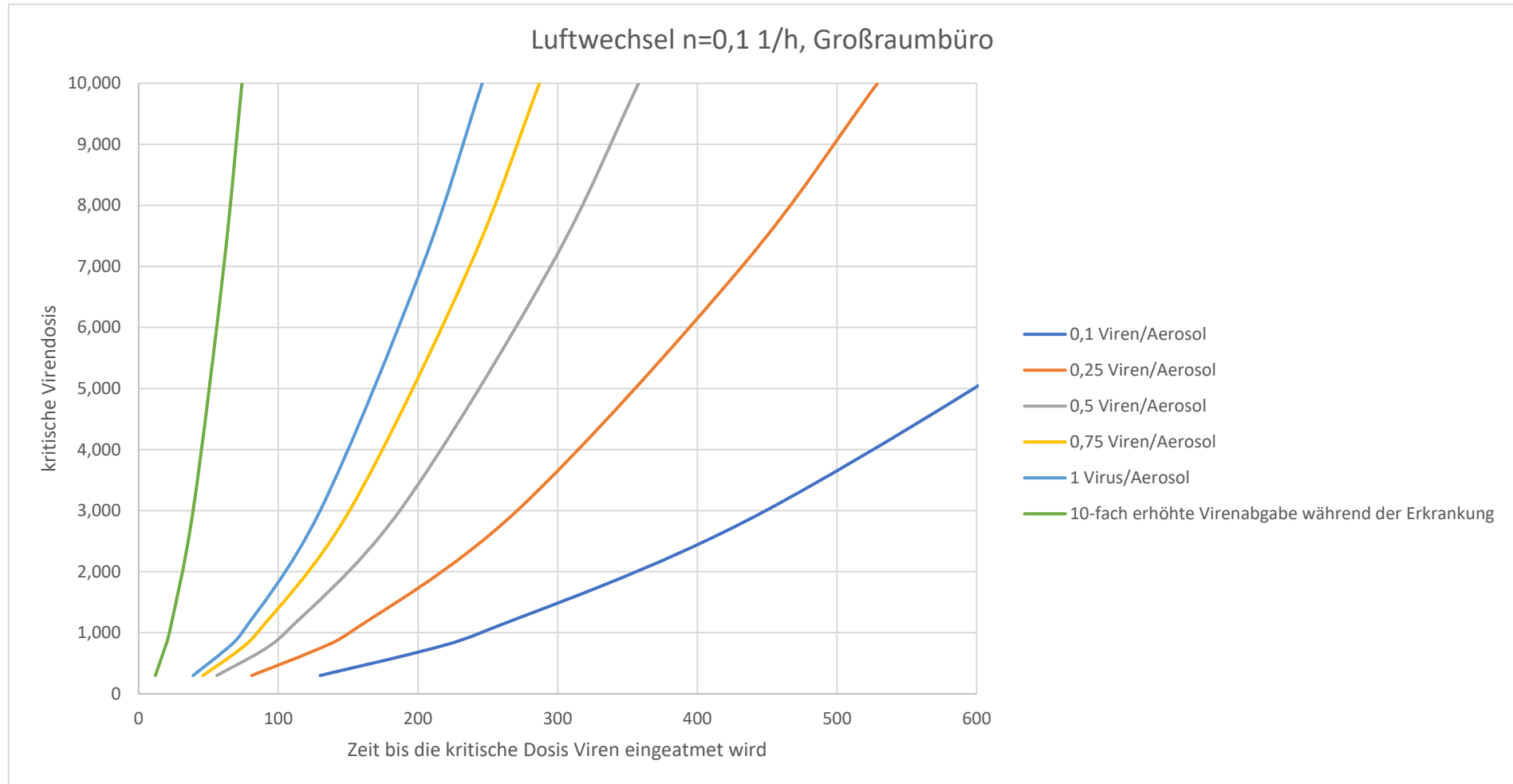


Abbildung 6: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=0,1$  1/h, Großraumbüro



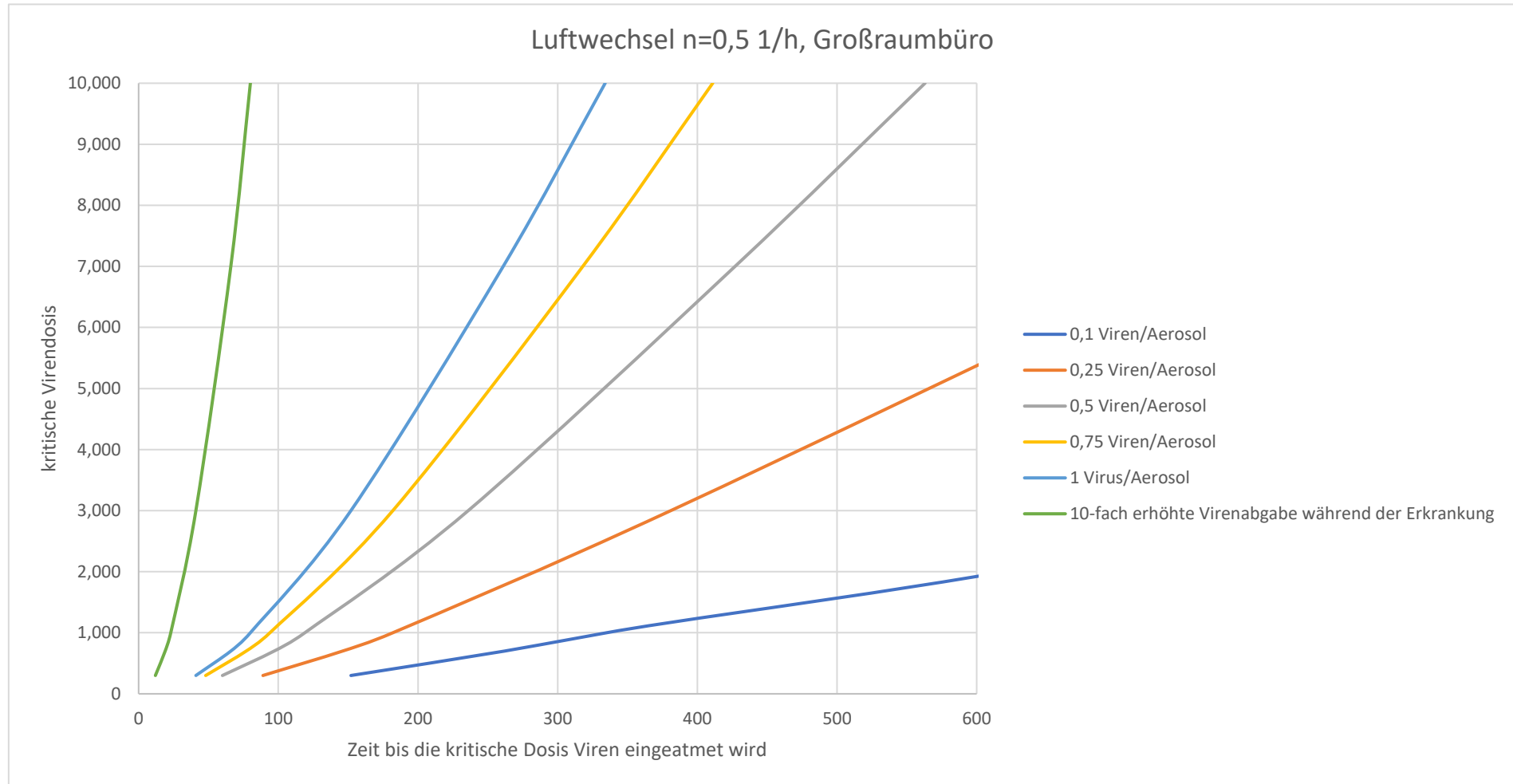


Abbildung 7: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=0,5$  1/h, Großraumbüro

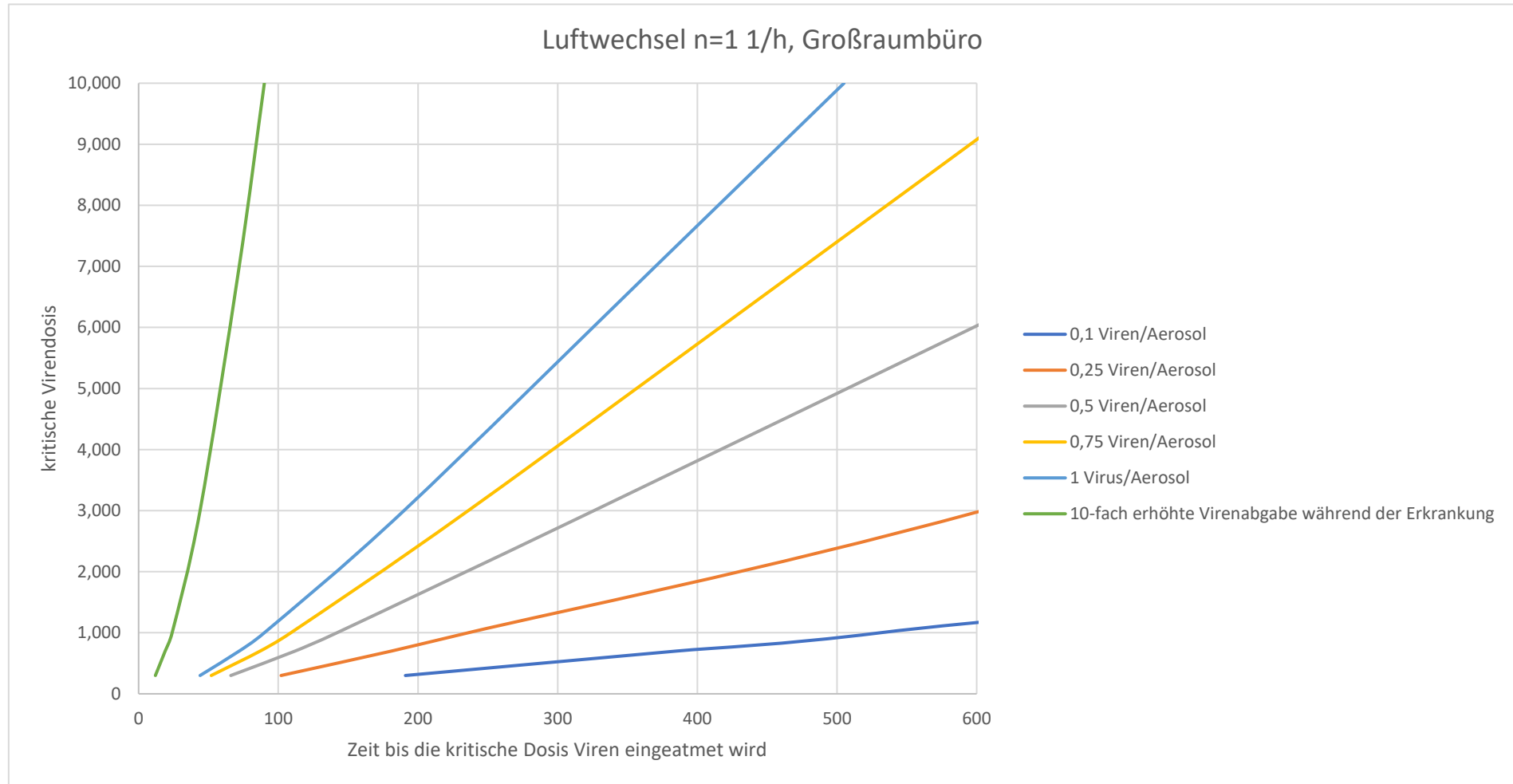


Abbildung 8: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel n=1 1/h, Großraumbüro

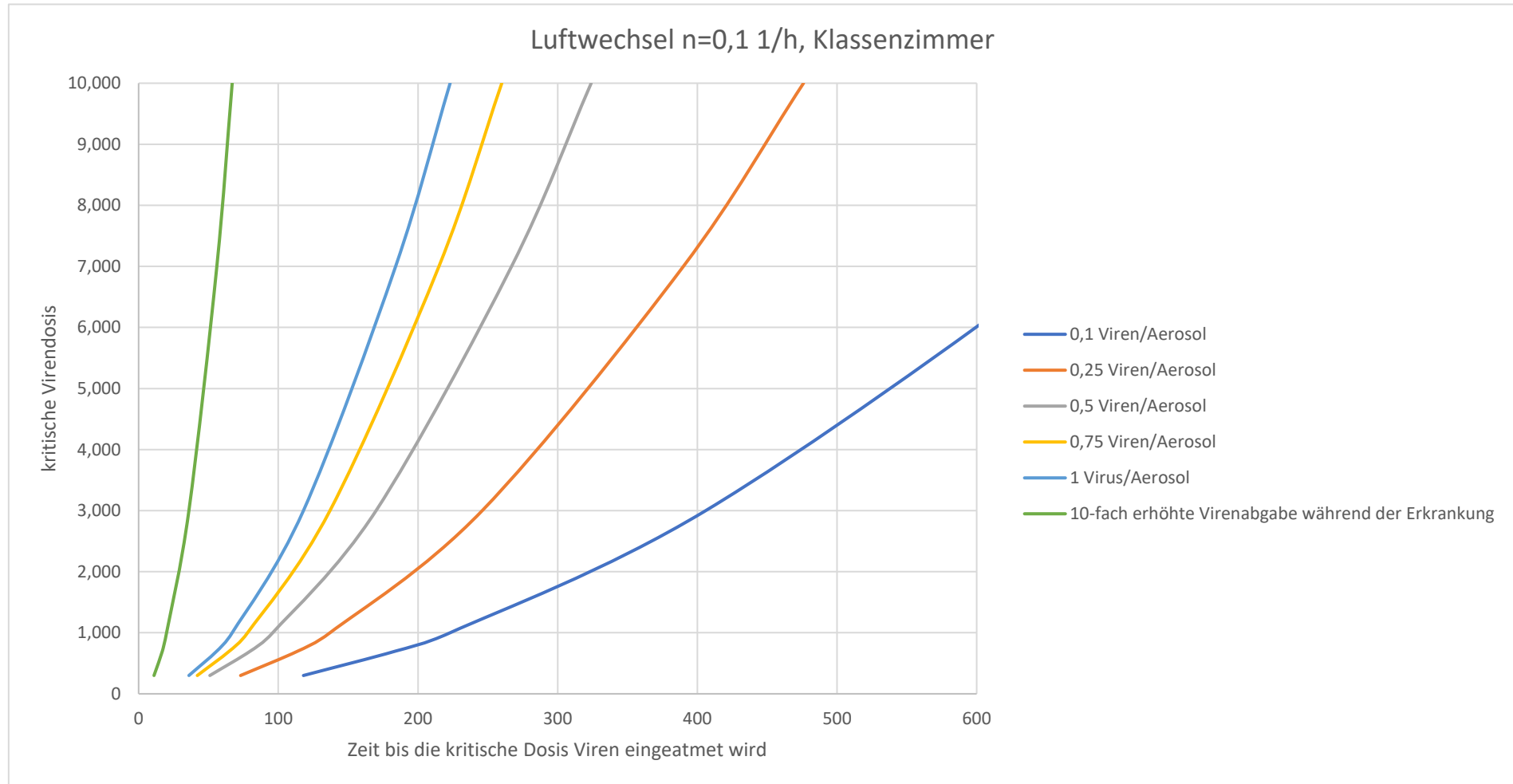


Abbildung 9: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=0,1$  1/h, Klassenzimmer

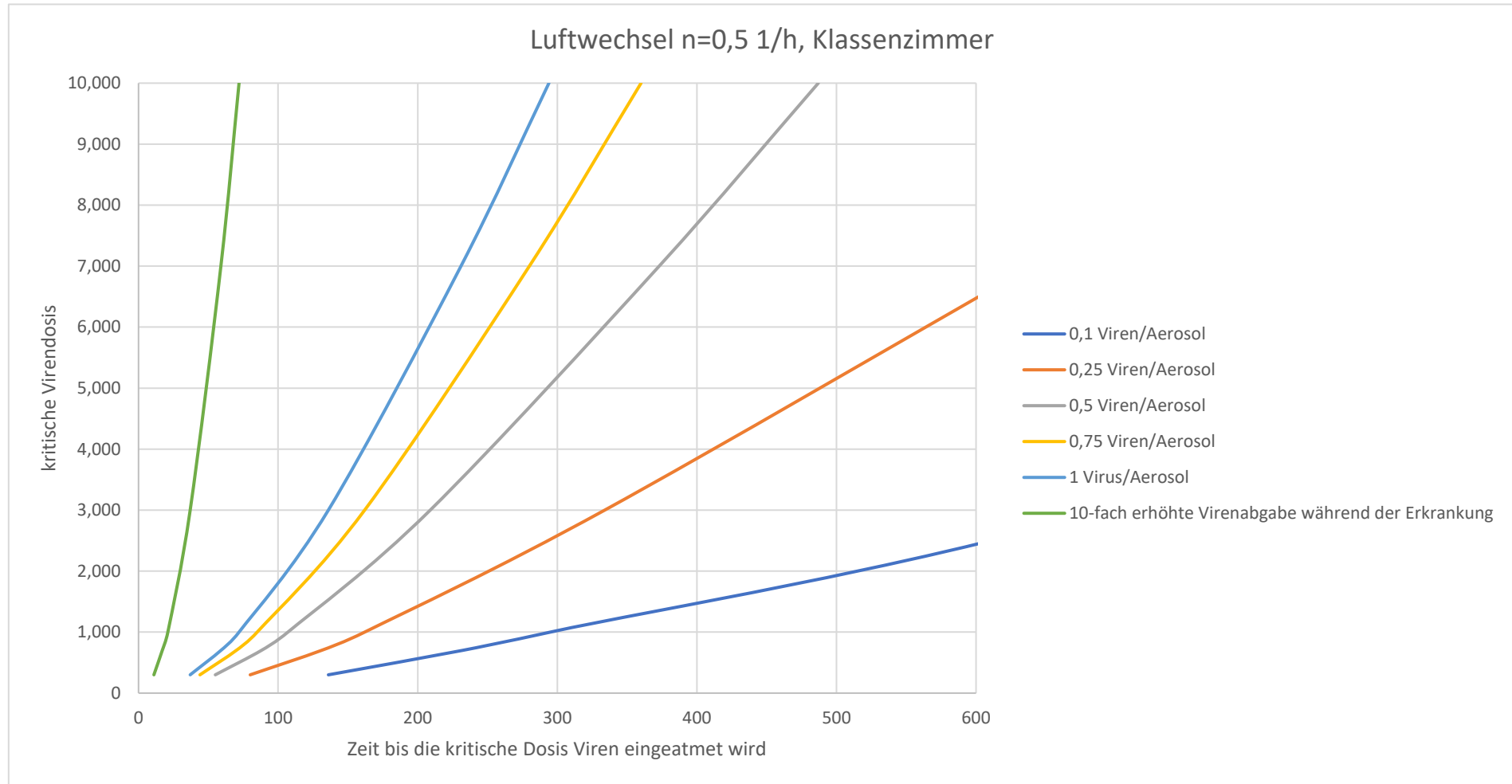


Abbildung 10: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel  $n=0,5$  1/h, Klassenzimmer

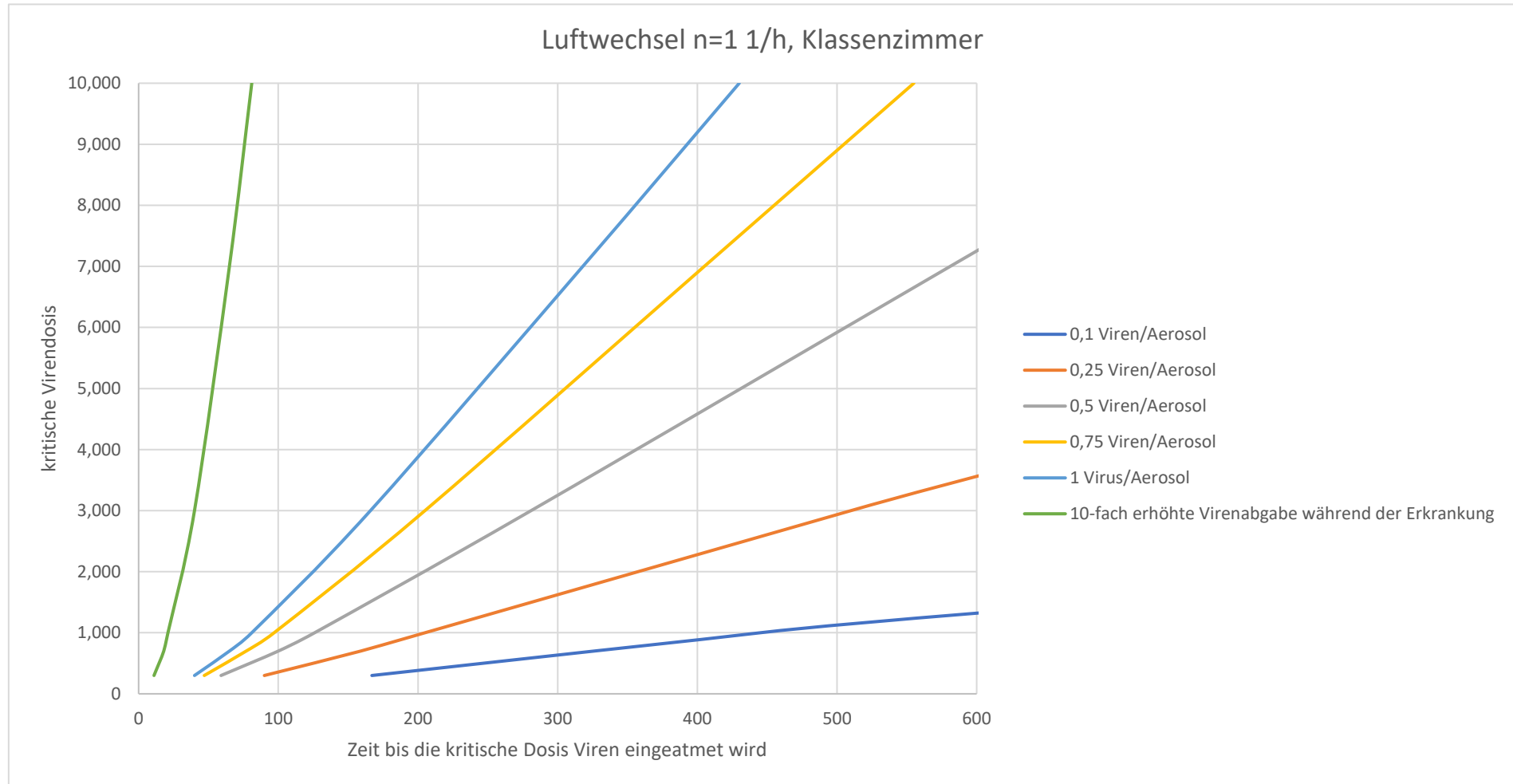


Abbildung 11: Einfluss der Viren je Aerosol sowie der kritischen Virendosis auf die maximale Aufenthaltszeit, Luftwechsel n=1 1/h, Klassenzimmer

Literatur:

[1] Robert-Koch-Institut (2020): SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19),

[https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1), letzter Zugriff: 14.07.2020, 10:30Uhr

[2] Hartmann, A. , Lange, J. , Rotheudt, H. , Kriegel, M. (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, Preprint,

<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332>

[3] Mürbe, D., Fleischer, M., Lange, J., Rotheudt, H., Kriegel, M. (2020): Erhöhung der Aerosolbildung beim professionellen Singen, Preprint,

<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10374>

[4] Kriegel, M., Hartmann, A. (2020): Risikobewertung von Innenräumen zu virenbeladenen Aerosolen, Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10343.2>

[5] Hartmann, A., Kriegel, M. (2020): Risikobewertung von virenbeladenen Aerosolen anhand der CO<sub>2</sub>-Konzentration, Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10361.2>