

Risikobewertung von Innenräumen zu virenbeladenen Aerosolen

Autoren: Martin Kriegel, Anne Hartmann
Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10343.3>
Version 3: 23.09.2020

Einleitung:

Nach aktuellem Kenntnisstand bilden Aerosole einen der Hauptübertragungswege von SARS-CoV-2 [1]. Eine Person gibt beim Atmen, Sprechen und Husten [2] Partikel ab, die mit der Raumluftströmung im ganzen Raum verteilt werden. Ist eine der im Raum befindlichen Personen erkrankt können auf den Aerosolen Viren transportiert werden. Mit zunehmender Dauer des Aufenthalts werden die Aerosole im Raum aufkonzentriert (siehe Abbildung 1) und können kritische Werte für eine Infektion erreichen.

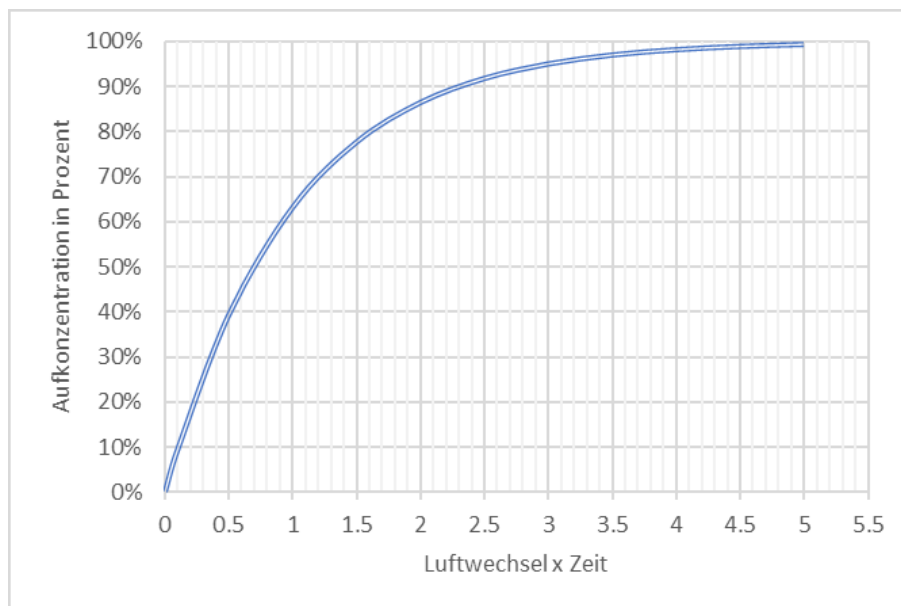


Abbildung 1: Relative Aufkonzentration in Abhängigkeit des Luftwechsels und der Zeit

Grundlagen und Methoden

Es kann angenommen werden, dass etwa 3.000 eingeatmete Viren notwendig sind, um eine Infektion hervorzurufen [3]. Wird weiter davon ausgegangen, dass jedes Partikel ein Virus trägt [4], so kann berechnet werden, wie lange sich Personen in Räumen mit einer infizierten Person aufhalten können bis 3.000 Viren eingeatmet wurden. Eine Infektionsübertragung über andere Schleimhäute (z.B. Augen) wird hier nicht betrachtet.

Basierend auf bekannten Gleichungen (1) und (2) zur Bestimmung von Schadstoffkonzentrationen in Räumen unter dem Einfluss verschiedener Luftwechsel wird eine analytische Risikobewertung für verschiedene Szenarien erstellt. Bei allen Gleichungen wird davon ausgegangen, dass die Schadstoffe gleichmäßig im Raum verteilt sind.

$$\Delta c_{\text{instationär}} = \frac{Q - \dot{V}_a \cdot \Delta c_0}{\dot{V}_a} \cdot (1 - e^{-nt}) \quad (1)$$

$$\Delta c_{\text{stationär}} = \frac{Q}{\dot{V}_a} \quad (2)$$

mit:

Δc ... Erhöhung der Schadstoffkonzentration gegenüber der Konzentration in der Zuluft

Q ... freigesetzter Schadstoffvolumenstrom in Partikel/h

\dot{V}_a ... dem Raum zugeführter Volumenstrom in m³/h

Δc_0 ... Schadstoffkonzentration über der Außenluftkonzentration zum Zeitpunkt t=0

n ... Luftwechsel in 1/h ($n = \frac{\dot{V}_a}{V_R}$)

V_R ...Raumvolumen in m³

t ...Zeit in h

Es ist dabei allerdings zu beachten, dass je nach Art der Lufteinbringung in der Aufenthaltszone der Personen höhere oder niedrige Konzentrationen auftreten können. Eine Kenngröße dafür ist die Lüftungswirksamkeit mit der es möglich ist eine Aussage zu treffen wie gut Schadstoffe aus dem Raum abgeführt werden können. Die Definition der Lüftungswirksamkeit kann Gleichung (3) entnommen werden.

$$\varepsilon_{OZ}^c = \frac{\Delta c_{exh}}{\Delta c_{OZ}} \quad (3)$$

ε_{OZ}^c ... Lüftungswirksamkeit in der Aufenthaltszone

Δc_{exh} ... Schadstoffkonzentration über der Außenluftkonzentration in der Abluft

Δc_{OZ} ... Schadstoffkonzentration über der Außenluftkonzentration in der Aufenthaltszone

Für eine ideale Mischlüftung ergibt sich demnach eine Lüftungswirksamkeit von 1,0 (die Schadstoffkonzentration ist an allen Raumpunkten gleich). Für andere Situation können typische Bereiche der Lüftungswirksamkeit Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Lüftungswirksamkeit Grenzen

Obere Grenze	∞	Schadstoffquelle direkt am Auslass
Ideale Mischlüftung	1	Vollständige Mischung im Raum
Untere Grenze	0	Schadstoffquelle in Rezirkulationsgebiet

Um die Anzahl der eingeatmeten Viren bestimmen zu können, kann Gleichung (4) verwendet werden.

$$c_{\text{inhal.}} = \int c_R \cdot \dot{V}_{\text{inhal}} \quad (4)$$

Der Atemluftbedarf kann dabei in Abhängigkeit vom Aktivitätsgrad Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Atemluftbedarf bei verschiedenen Aktivitäten

Tätigkeit	Aktivitätsgrad	Atemluftbedarf in m ³ /h
Lesen oder Schreiben	I	0,375
Sehr leichte körperliche Tätigkeit im Stehen oder Sitzen	II	0,575
Körperliche Tätigkeit	III	0,75

Wird nun die Virenkonzentration im Raum betrachtet, so kann bei reiner Außenluftzufuhr $c_{zu} = 0$ gesetzt werden. Durch das Einsetzen von Gleichung (1) in Gleichung (4) kann Gleichung (5) für die Bestimmung der maximalen Aufenthaltszeit aufgestellt werden. Für die nachfolgenden Betrachtungen wurde eine Grenzkonzentration von $c_{inhal.} = 3.000$ Viren verwendet.

$$c_{inhal.,instationär} = \left(\frac{Q - \dot{V}_a \cdot \Delta c_0}{\dot{V}_a} t - \frac{Q - \dot{V}_a \cdot \Delta c_0}{n \cdot \dot{V}_a} \cdot (1 - e^{-nt}) \right) \cdot \dot{V}_{inhal} \quad (5)$$

Ergebnisse der analytischen Betrachtung

Für die analytische Betrachtung werden folgenden Parameter variiert:

- Raumvolumen: 30 m³ bis 300 m³
- Luftwechsel: 0,05 1/h bis 4 1/h

Darüber hinaus wird angenommen, dass eine infizierte Person zum Zeitpunkt $t = 0$ s den Raum betritt und sich eine normale Sprechsituation, z.B. in Büroräumen, mit einer Annahme einer Emissionsrate von 300 P/s = 300 Viren/s und einem Aktivitätslevel I gem. Tabelle 2 einstellt. Weiterhin wird ausschließlich eine Mischlüftungssituation mit der Lüftungswirksamkeit von 1 betrachtet. Die Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse.

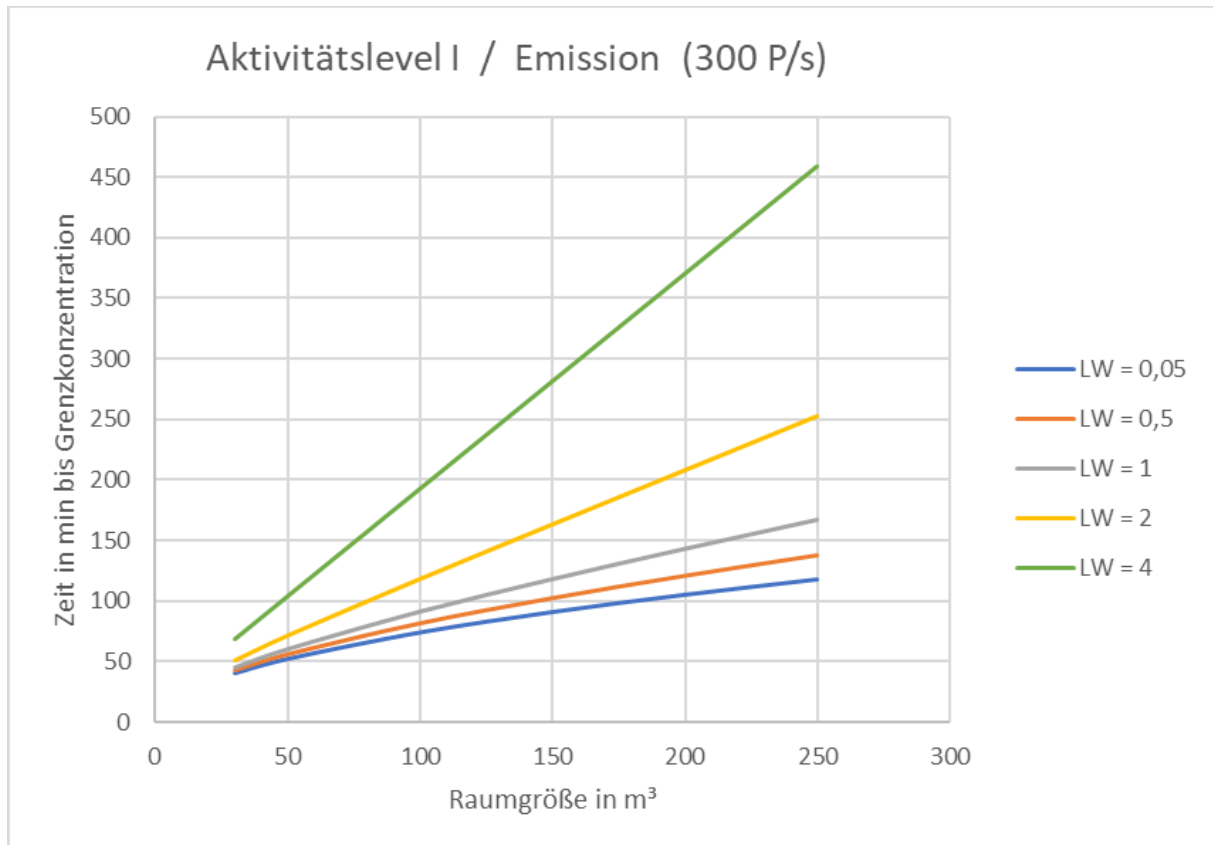


Abbildung 2: Zeit in Minuten bis die Anzahl der eingeatmeten Viren 3.000 beträgt in Abhängigkeit des Raumvolumens und des Luftwechsels

Der Abbildung 2 kann entnommen werden, wie lange sich gesunde Personen gemeinsam mit einer infizierten Person in einem Raum maximal aufhalten sollten, um nicht die kritische Anzahl von 3.000 Viren eingeatmet zu haben.

Es wird deutlich, dass bei kleinen Räumen der Luftwechsel einen geringeren Einfluss auf das potentielle Risiko hat als bei größeren Räumen. Wird davon ausgegangen, dass ein 2-Personenbüro eine Größe von 20 m² mit einer Höhe von 3 m hat und ein typischer Luftwechsel in Höhe von 2 1/h herrscht, dann beträgt nach Eintritt der infizierten Person in den Raum die maximale Aufenthaltsdauer etwa 80 Minuten. Wird hingegen ein 10-Personen-Büro betrachtet mit einer Größe von 100 m² und einer Höhe von 3 m und einer dafür typischen Luftwechselrate in Höhe von 1 1/h, dann ergibt sich eine maximale Aufenthaltsdauer in Höhe von etwas mehr als 3 Stunden.

Zusammenfassung und Diskussion:

Unter den vereinfachten Annahmen können mittels einfacher analytischer Gleichungen Betrachtungen zum Infektionsrisiko in Innenräumen angestellt werden. Im Detail und in der konkreten Situation muss jedoch die Lüftungswirksamkeit mit betrachtet werden. Ebenfalls gelten die Aussagen nicht für das Nahfeld, in dem die Aerosolkonzentration deutlich höher ist (direkte Atemluft). Darüber hinaus sind als unsichere Variablen die Anzahl der Viren pro Aerosol und die Anzahl der Viren anzusehen, die für eine Infektion notwendig sind. Dabei muss ebenfalls betrachtet werden, dass ggf. eine kumulative Last (pro Einatemvorgang eine kleinere Virenanzahl) nicht gleichzusetzen ist mit einer momentanen hohen Last von 3.000 Viren. Letztendlich ist ebenfalls mit zu bedenken und zu berücksichtigen, dass die Vitalität der Viren mit der Zeit abnimmt. Dabei hat auch die Lufttemperatur und Luftfeuchte einen Einfluss [5].

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, letzter Zugriff: 22.06.2020, 12:00Uhr
- [2] Hartmann, A., Lange, J., Rotheudt, H., Kriegel, M. (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, in: Preprint,
<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332>
- [3] Nikitin N, Petrova E, Trifonova E, and Karpova O: Influenza virus aerosols in the air and their infectiousness. Adv Virol. 2014;2014. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/859090>
- [4] Wölfel, R., Corman, V. M., Guggemos, W., Seilmaier, M., Zange, S., Müller, M. A., Niemeyer, D., Jones, T.C., Vollmar, P., Rothe, C., Hoelscher, M., Bleicker, T., Brünink, S., Schneider, J., Ehrmann, R., Zwirgmaier, K., Drosten, C., Wendtner, C. (2020): Virological assessment of hospitalized patients with COVID-2019. In: Nature 581, p. 465-469,
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2196-x>
- [5] Moriyama, M., Hugentobler, W. J., Iwasaki, A. (2020): Sesaonality of Respiratory Viral Infections. In: Annu. Rev. Virol. 2020. 7:2.1–2.19, <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-012420-022445>