

## Beispielhafte Risikobewertung für verschiedene Alltagssituationen

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

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10714>  
Version 1: 04.11.2020

### Einleitung:

Der Hauptübertragungsweg von SARS-CoV-2 wird aktuell in der Aufnahme über die Atemwege gesehen. Eine Möglichkeit ist dann die Übertragung über Aerosole (kleinste in der Luft transportierte flüssige oder feste Partikel) [1]. Aus diesem Grund wird die Zufuhr von virenfreier und damit Abfuhr von virenhaltiger Luft als ein wichtiger Beitrag zur Reduktion der Infektionszahlen angesehen. In den nachfolgenden Betrachtungen soll der Einfluss verschiedener virenfreier Luftmengen in verschiedenen Alltagssituationen betrachtet werden. Es wird ausschließlich Frischluft (Außenluft) als virenfreie Zuluft angenommen, damit eine übliche Verbindung zur Luftqualität über die CO<sub>2</sub> Konzentration hergestellt werden kann. Im Folgenden werden jeweils die Konzentration von Partikeln im Raum, die Menge der eingeatmeten Partikel sowie das Infektionsrisiko nach einer typischen Aufenthaltszeit dargestellt. Das Berechnungsmodell zur Bewertung des Infektionsrisikos wird in [2] ausführlich beschrieben.

### Randbedingungen

In Tabelle 1 sind Räume typischer Alltagssituationen aufgelistet. Die Personenanzahl im Raum orientiert sich an der Einhaltung des Mindestabstandes.

Zusätzlich werden vier verschiedene Lüftungssituationen unterschieden:

- keine Lüftung – Fenster geschlossen
- mäßig gelüftet – mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration etwa 2000 ppm (15m<sup>3</sup>/(h·Per))
- gut gelüftet – mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration etwa 1200 ppm (30m<sup>3</sup>/(h·Per))
- sehr gut gelüftet - mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration etwa 1000 ppm (40m<sup>3</sup>/(h·Per))

Eine Unterscheidung in Fensterlüftung und maschinelle Lüftung wird nicht vorgenommen. Die angegebene CO<sub>2</sub>-Konzentration gilt nur für Räume ohne Umluftbetrieb.

In Abbildung 1 ist der qualitative Verlauf der Aerosolkonzentration in einem Raum bei Fensterlüftung (orange) mit klassischem Zick-Zack-Verlauf und maschineller Lüftung (blau) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich eine sehr ähnliche Aerosolkonzentration einstellt und auch die Menge der eingeatmeten Aerosole (siehe Abbildung 2) gleich ist. Zur Vereinfachung wird daher nachfolgend nur der Verlauf für maschinelle Lüftung dargestellt. Unter Einhaltung der genannten mittleren CO<sub>2</sub>-Konzentration ist das Ergebnis bei Fensterlüftung ähnlich zu bewerten.

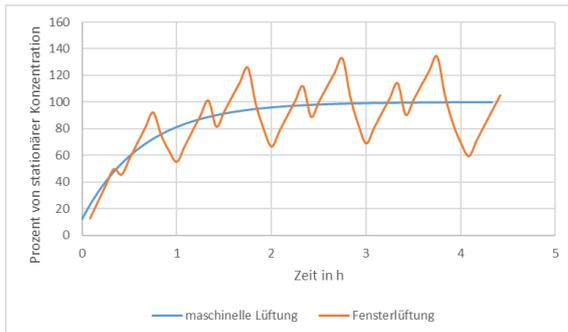


Abbildung 1: qualitativer Verlauf der Aerosolkonzentration bei verschiedenen Lüftungen

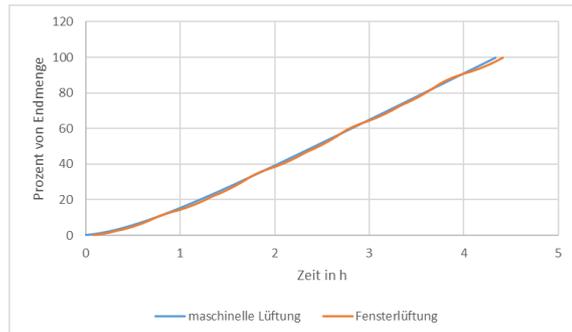


Abbildung 2: qualitativer Verlauf der Menge eingeatmeter Aerosole bei verschiedenen Lüftungen

Tabelle 1: Randbedingungen der betrachteten Situationen/Räume

Nutzung	Raumfläche in m <sup>2</sup>	Raumvolumen in m <sup>3</sup>	Personenanzahl*	Aktivität	Typische Aufenthaltszeit in h
Besprechungsraum	30	90	10	90% Atmen, 10% Sprechen	2
Büroraum	20	60	2	90% Atmen, 10% Sprechen	8
Klassenzimmer	90	270	29	95% Atmen, 5% Sprechen	6 (Schulstunden: ca. 4,5 h)
Restaurant	60	180	30	60% Atmen, 40% Sprechen	2
Supermarkt	1500	4500	300	90% Atmen, 10% Sprechen	0,5
Veranstaltungsraum (z.B. Kino)	340	2200	85	95% Atmen, 5% Sprechen	3
Wohnzimmer	20	60	4	50% Atmen, 50% Sprechen	1

\* Unter Einhaltung der AHA-Regeln.

In allen betrachteten Situationen wird angenommen, dass eine infizierte Person den Raum betritt. In diesem Raum befinden sich bereits gesunde Personen oder diese betreten den Raum gemeinsam mit der infizierten Person. Berücksichtigt werden nur die Aerosolpartikel, die die infizierte Person abgibt, da nur von diesen Aerosolpartikeln ein Infektionsrisiko ausgeht. Zunächst sollen die betrachteten Situationen hinsichtlich der Konzentration der Aerosolpartikel in der Raumluft und der Menge der eingeatmeten Aerosolpartikel verglichen werden. Abschließend wird das Infektionsrisiko für alle betrachteten Situationen nach [2] angegeben.

Es wird weiterhin angenommen, dass nach der definierten typischen Nutzungszeit alle Personen den Raum verlassen und von den Aerosolpartikeln bis zu deren Inaktivierung kein weiteres Infektionsrisiko ausgeht.

Die Betrachtung erfolgt unter Einhaltung der Abstandsregeln. Wird der Mindestabstand zwischen den Personen nicht eingehalten, ist mit einem deutlich höheren Infektionsrisiko zu rechnen.

## Ergebnisse

### Besprechungsraum

In Abbildung 3 ist der Verlauf der Konzentration an Aerosolpartikeln in einem Besprechungsraum mit einer infizierten Person über eine maximale Sitzungsdauer von 2 h dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Konzentration an Aerosolpartikeln ohne Lüftung fast linear ansteigt und nach 2 h mehr als 7.000 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup> in der Raumluft zu finden sind. Bei einer sehr guten Lüftung ist nach derselben Zeit nur eine Konzentration von etwa 700 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup>, also etwa 10 % zu finden. Der Unterschied zwischen sehr guter und guter Lüftung ist allerdings nur minimal. Die Menge der eingeatmeten Aerosolpartikel zeigen einen exponentiellen Verlauf für den Fall eines nicht gelüfteten Raumes. Je länger der Aufenthalt in einem Raum ist, umso mehr Aerosolpartikel atmet man ein. Wieder ist ohne Lüftung mit einer deutlich größeren Menge eingeatmeter Aerosolpartikel zu rechnen (4.240 Aerosolpartikel), als bei sehr guter Lüftung (690 Aerosolpartikel). Der Unterschied zwischen guter und sehr guter Lüftung ist ebenfalls nur gering.

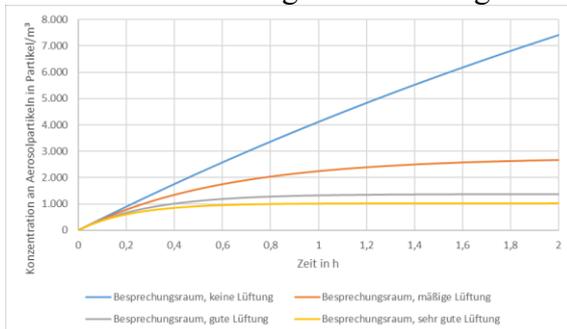


Abbildung 3: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Besprechungsraum

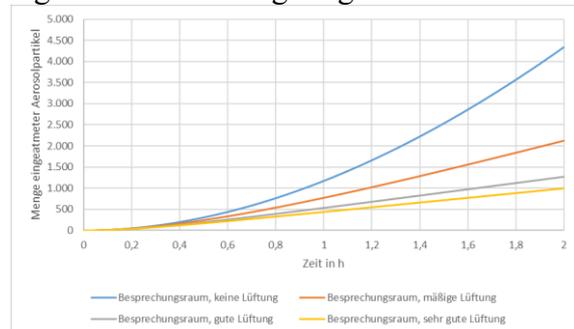


Abbildung 4: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Besprechungsraum

### Bürraum

Im Gegensatz zu einem Besprechungsraum ist der Aufenthalt in einem Bürraum deutlich länger. In diesem Beispiel wurde von einem Arbeitstag von 8 h ausgegangen. Es befindet sich wieder eine infizierte Person im Raum und nur die Aerosolpartikel, die diese Person abgibt, werden bei der Berechnung berücksichtigt.

Der qualitative Verlauf der Konzentration an Aerosolpartikeln (Abbildung 5) ist ähnlich dem Verlauf in einem Besprechungsraum. Allerdings steigt die Aerosolkonzentration auf knapp 45.000 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup> in einem ungelüfteten Bürraum an. Bereits bei mäßiger Lüftung kann die Konzentration auf 10.300 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup> gesenkt werden. Der Unterschied zwischen guter Lüftung (5.200 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup>) und sehr guter Lüftung (3.500 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup>) ist geringer als zwischen den beiden anderen betrachteten Lüftungssituationen. Dies spiegelt sich auch in der Menge der eingeatmeten Aerosolpartikel wider (Abbildung 6). Ohne Lüftung liegt diese nach 8 h bei über 100.000 Aerosolpartikeln, während sie bei sehr guter Lüftung bei 14.000 Aerosolpartikeln liegt. Dies ist allerdings immer noch deutlich über der Menge in den anderen betrachteten Situationen.

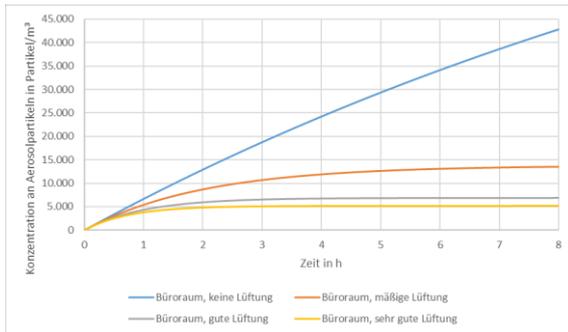


Abbildung 5: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Büroraum

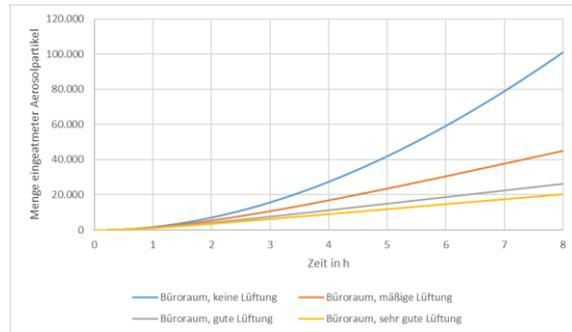


Abbildung 6: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Büroraum

### Klassenzimmer

Wie auch in Büroräumen sind die Aufenthaltszeiten in Klassenzimmern häufig sehr lang. In der betrachteten Situation wurde von einer gemeinsamen Gesamtaufenthaltszeit von 4,5 h ausgegangen. Die Schülerinnen und Schülern befinden sich dabei zusammen mit einer infizierten Person im Raum. Ohne Lüftung steigt die Konzentration an Aerosolpartikeln (Abbildung 7) auf bis zu 4.050 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup> an. Mit guter (440 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup>) bzw. sehr guter Lüftung (330 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup>) kann dieser Wert deutlich gesenkt werden. Nach 4,5 h werden dann auch deutlich weniger Aerosolpartikel eingeatmet (ohne Lüftung 4.800 Aerosolpartikel, bei guter Lüftung 820 Aerosolpartikel, bei sehr guter Lüftung 630 Aerosolpartikel), (Abbildung 8).

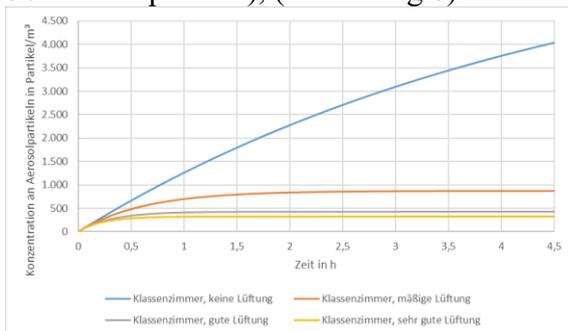


Abbildung 7: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Klassenzimmer

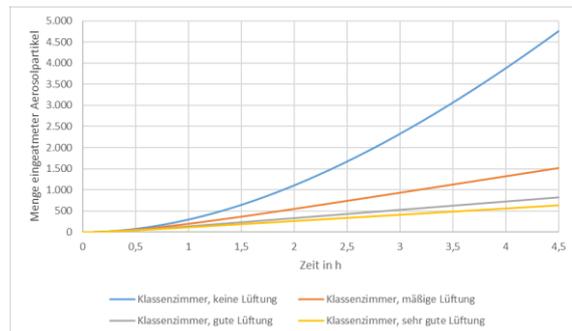


Abbildung 8: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Klassenzimmer

### Restaurant

Des Weiteren wird ein Restaurantbesuch betrachtet. Es wird eine maximale Aufenthaltszeit von 2 h angenommen. Auch in diesem Fall steigt die Konzentration an Aerosolpartikeln ohne Lüftung sehr schnell an (Abbildung 9) und die Menge der nach 2 h eingeatmeten Aerosolpartikel liegt bei etwa 2.650 Aerosolpartikeln (Abbildung 10). Schon mit einer mäßigen Lüftung kann dieser Wert deutlich auf 830 eingeatmete Aerosolpartikel gesenkt werden. Mit guter bzw. sehr guter Lüftung sogar auf unter 600 Aerosolpartikel bzw. 500 Aerosolpartikel nach einer Aufenthaltszeit von 2 h.

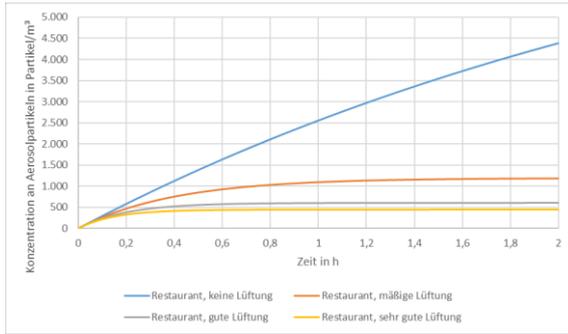


Abbildung 9: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Restaurant

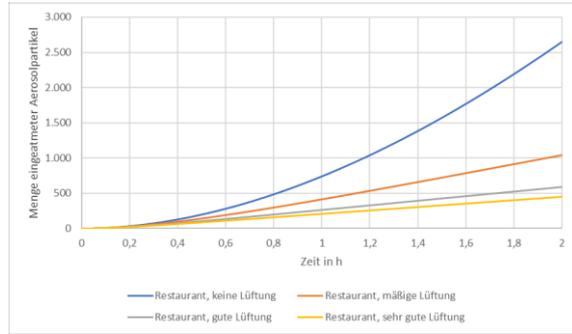


Abbildung 10: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Restaurant

### Supermarkt

Für den betrachteten Fall des Supermarktes mit einer maximalen Aufenthaltszeit von 30 min ist der Einfluss einer sehr kurzen Aufenthaltszeit in einem verhältnismäßig großem Raum zu erkennen. Es wird wieder davon ausgegangen, dass gesunde Personen die definierte Aufenthaltszeit gemeinsam mit einer infizierten Person im Raum verbringen. Es fällt auf, dass in keinem der betrachteten Lüftungsszenarien eine stationäre Konzentration an Aerosolpartikeln (Abbildung 11) erreicht wird, dass heißt in allen Fällen würde die Konzentration weiter ansteigen, wenn die infizierte Person länger im Raum bleibt. Aufgrund der insgesamt sehr geringen Konzentration an Aerosolpartikeln werden bei einem Aufenthalt von 30 min auch nur weniger Aerosolpartikel (zwischen 4 und 7 Aerosolpartikel), (Abbildung 12) eingeatmet.

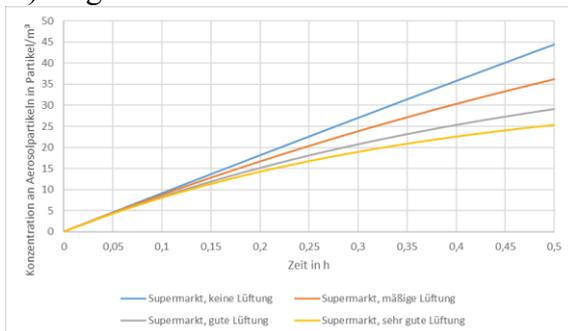


Abbildung 11: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Supermarkt

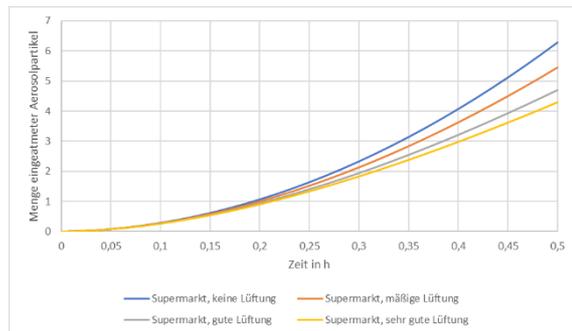


Abbildung 12: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Supermarkt

### Veranstaltungsraum

Wie auch im Supermarkt ist auch im Veranstaltungsraum eine geringe Konzentration an Aerosolpartikeln (Abbildung 13) von maximal 460 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup> im ungelüfteten Raum zu finden. In einem Veranstaltungsraum befinden sich viele Personen, allerdings ist basierend auf den aktuellen Fallzahlen nicht davon auszugehen, dass mehr als eine infizierte Person anwesend ist, daher ist die Menge an sauberer Luft pro infizierter Person sehr groß und die Konzentration daher niedrig. Dies ist auch an der Menge der eingeatmeten Aerosolpartikeln (Abbildung 14) zu erkennen. Bei einer schlechten Lüftung liegt diese bei knapp 400 Aerosolpartikeln und bei einer guten Lüftung bei 175 Aerosolpartikeln.

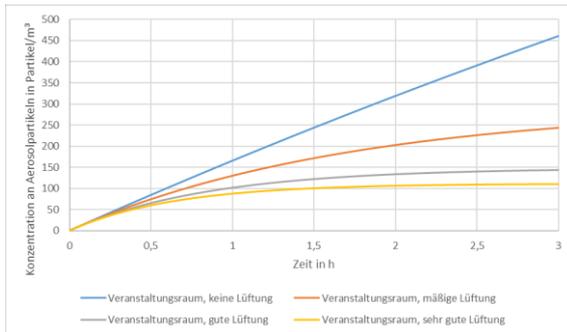


Abbildung 13: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Veranstaltungsraum

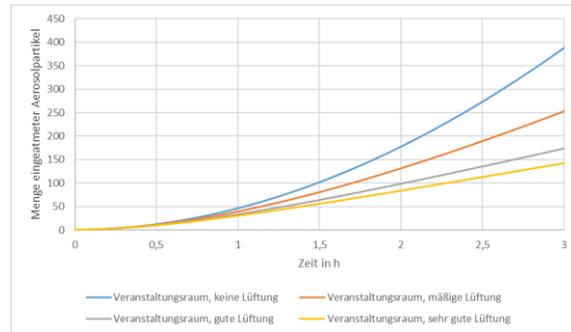


Abbildung 14: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Veranstaltungsraum

### Wohnzimmer

Personen, die in einem gemeinsamen Haushalt leben, verbringen viel Zeit in der gemeinsamen Wohnung und eine gewisse Zeit auch in einem Zimmer. Hier soll dafür das Wohnzimmer als Beispiel betrachtet werden. Nach einer Aufenthaltszeit von 1 h ohne Belüftung liegt die Konzentration an Aerosolpartikeln (Abbildung 15) bei knapp 9.500 Aerosolpartikeln und eine Person hat bis zu diesem Zeitpunkt etwa 2.600 Aerosolpartikel eingeatmet (Abbildung 16). Bei guter Lüftung kann die Konzentration auf 4.300 Aerosolpartikel/m<sup>3</sup> nach 1 h und die eingeatmete Menge auf 1.500 Aerosolpartikel gesenkt werden.

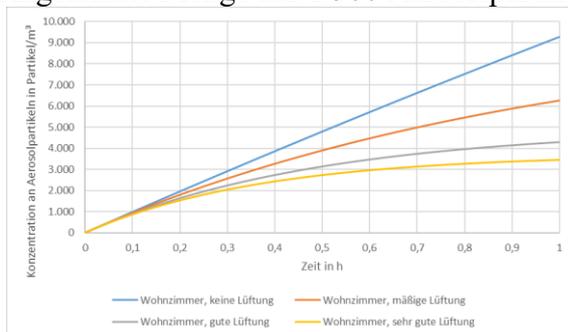


Abbildung 15: Verlauf Konzentration an Aerosolpartikeln Wohnzimmer

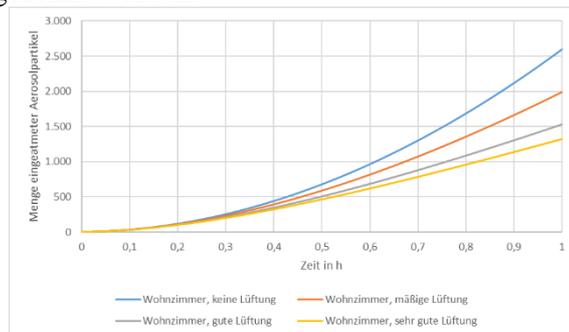


Abbildung 16: Menge der mit der Zeit eingeatmeten Aerosolpartikel Wohnzimmer

### Risikobewertung

Basierend auf dem Berechnungsmodell aus [2] kann aufbauend auf der Konzentration an Aerosolpartikeln das Risiko einer Infektion abgeschätzt werden (Abbildung 17). Für eine erste Abschätzung wird davon ausgegangen, dass die Personen keine Masken tragen und es sich ausschließlich um Erwachsene Personen handelt.

Es ist deutlich zu erkennen, dass das Risiko sich in einem Zwei-Personen-Büro zu infizieren, sehr hoch ist, wenn eine der beiden Personen bereits infiziert ist. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass in diesem Fall nur eine weitere Person erkrankt, während z.B. in einem Besprechungsraum trotz sehr guter Lüftung und eines geringen Risikos 3 der 9 gesunden Personen mit hoher Wahrscheinlichkeit infiziert werden würden. Zusätzlich ist zu beachten, dass die betrachtete Bürosituation mit 8 h Aufenthaltszeit die längste untersuchte Begegnung einer infizierten Person mit gesunden Personen ist.

Als besonders kritisch hinsichtlich der Anzahl der potentiell Neuinfizierten ist von den untersuchten Szenarien das Klassenzimmer und das Restaurant zu betrachten. Für das Klassenzimmer sind besonders die langen Aufenthaltszeiten kritisch, während für das betrachtete Restaurant die Aufenthaltszeit zusammen mit der vermehrten Aktivität (viele sprechende Personen) ausschlaggebend sind.

Sowohl das private Umfeld (Wohnzimmer) als auch der Supermarkt sind in den gewählten Situationen als weniger kritisch einzustufen.

Bei dem Veranstaltungsraum, der ebenfalls ein geringes Risiko bzw. wenige neuinfizierte Personen zeigt, muss allerdings beachtet werden, dass die betrachtete infizierte Person im Publikum angenommen wurde. Wird diese aber z.B. als Sängerin/Sänger angenommen, liegt das Infektionsrisiko deutlich höher (zwischen 65 und 75 %) und damit auch die Anzahl der potentiell neuinfizierten Personen (55 bis 65 Personen).

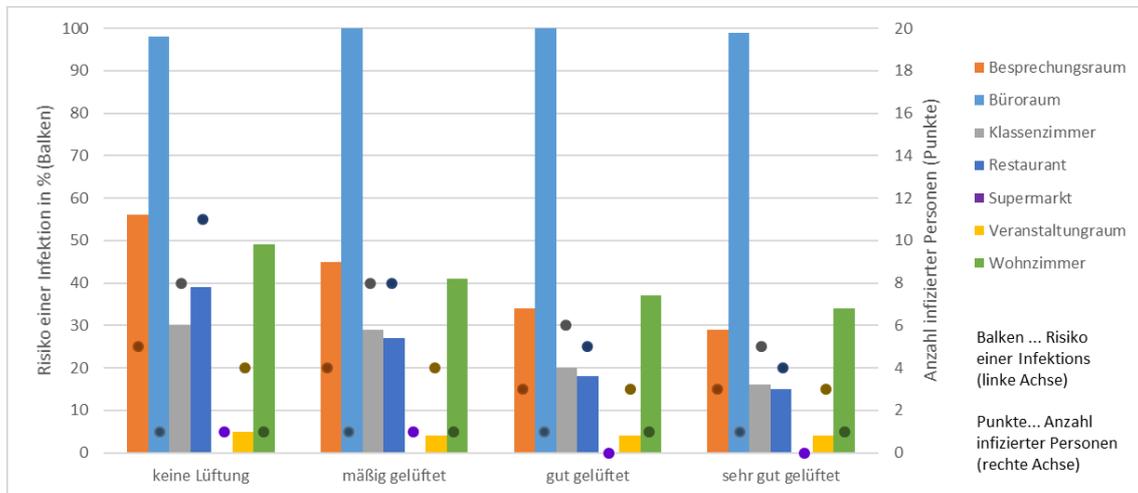


Abbildung 17: vorausgesagtes Risiko einer Infektion für verschiedene Situationen nach Ablauf der typischen Aufenthaltszeit sowie daraus resultierende Anzahl an neu-infizierten Personen

### Zusammenfassung und Diskussion

Zusammenfassend, kann gesagt werden, dass die Zufuhr von viel sauberer Außenluft, geringere Aufenthaltszeiten sowie die Einhaltung des Abstandes zu einer deutlichen Reduktion des Infektionsrisikos führen.

Zusätzlich sind große Räume dann als weniger kritisch zu bewerten, wenn die Aufenthaltszeit kurz ist (Supermarkt).

Ein Infektionsrisiko von Null kann praktisch nie erreicht werden. Räume mit beschränkter Personenanzahl haben den Vorteil, dass nur wenige weitere Personen angesteckt werden können. Dies ist z.B. im untersuchten 2-Personen-Büro zu erkennen (Infektionsrisiko 100%, aber nur eine weitere infizierte Person).

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: 27.10.2020, 09:30Uhr

[2] Kriegel, M., Buchholz, U., Gastmeier, P., Bischoff, P., Abdelgawas, I., Hartmann, A.: Predicted Infection Risk for Aerosol Transmission of SARS-CoV-2; DOI: 10.1101/2020.10.08.20209106, Preprint