

Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2

Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Mitglieder des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK

Weitere Experten: DI Felix Twrdik

Gesamtumsetzung: DI Peter Tappler, Assoz.-Prof. PD DI Dr. Hans-Peter Hutter

Wien, 2021. Stand: 10. Februar 2021

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autoren ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autoren dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Werden Personenbezeichnungen aufgrund der besseren Lesbarkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

Vorwort

Der vorliegende Text basiert zum Teil auf Einschätzungen und Fachartikeln der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des deutschen Umweltbundesamtes. Der Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie dankt dem IRK für die Erlaubnis, Textteile und Erkenntnisse der Experten dieser Arbeitsgruppe für das vorliegende Positionspapier verwenden zu dürfen.

Positionspapiere des Arbeitskreises Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie werden zu aktuellen Themen im Bereich Innenraumklimatologie und -toxikologie ausgearbeitet und stellen das jeweilige Thema kurz und leicht aktualisierbar dar. Sie werden von Fachleuten der Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien, der Bundesländer, der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) und Messtechnik sowie aus Forschungs- und Experteneinrichtungen des Bundes (Umweltbundesamt) sowie privater Institutionen erstellt und richten sich in erster Linie an Fachleute, aber auch an interessierte Laien, an Behörden, an den Öffentlichen Gesundheitsdienst und Personen aus den einschlägigen Gewerbebereichen.

Der Arbeitskreis Innenraumluft erstellt und veröffentlicht unterschiedliche Typen von Dokumenten: Die einzelnen Teile der „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ werden unter Mitwirkung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erstellt und definieren Richt- und Referenzkonzentrationen für häufig auftretende Schadstoffe in Innenräumen. Beim „Wegweiser für eine gesunde Raumluft“ handelt es sich um eine Konsumentenbroschüre, in der in leicht verständlicher Form Empfehlungen zum Thema „Innenraumluft“ gegeben werden. Zu einzelnen Themen werden Positionspapiere veröffentlicht, die gegebenenfalls durch Leitfäden ergänzt werden, in denen in umfangreicherer Form Informationen bereitgestellt werden.

Leitfäden und Positionspapiere legen prinzipielle Vorgangsweisen für Experten fest und schneiden offene Fachfragen an. Sie spiegeln die Fachmeinung der im Arbeitskreis vertretenen Experten und Expertinnen (Umwelthygiene, Messtechnik, Verwaltung usw.) zu einem aktuellen Problemkreis im Themenbereich „Innenraumluft“ wider. Sie haben keinen normativen Charakter und können nach einer Evaluierung auch erneut bearbeitet werden.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind erschienen:

- Leitfaden Gerüche in Innenräumen
- Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“)
- Leitfaden zur technischen Bauteiltrocknung
-
- Positionspapier zu Luftströmungen in Gebäuden
- Positionspapier zu Schimmel in Innenräumen
- Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Gebäuden
- Positionspapier zu Formaldehyd in Saunaanlagen
- Positionspapier zu technischer Bauteiltrocknung
- Positionspapier zu Verbrennungsprozessen und Feuerstellen in Innenräumen
- Positionspapier zur Sanierung von Schimmelbefall nach Wasserschäden in Krankenanstalten
- Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2
- Positionspapier zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen durch Einsatz von Luftreinigern zur COVID-19 Prävention und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft
- Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisikos durch SARS-CoV-2
- Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (mehrere Teile)
- Wegweiser für eine gesunde Raumluft

Alle Publikationen sind auf der Website des BMK zum Download verfügbar:

bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum.html

Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2

Das Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft soll Behörden, Raumnutzern und Gebäudebetreibern helfen, das Risiko für SARS-CoV-2-Übertragungen in Innenräumen und damit auch das Risiko für die daraus resultierende Erkrankung COVID-19 zu beurteilen. Das Positionspapier dient auch im Rahmen der Zuständigkeit des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK zur Präzisierung und Ergänzung der von der Bundesregierung, den befassten Bundesministerien und weiteren Institutionen herausgegebenen Empfehlungen (zB. [1], [2]) in Bezug auf Lüftungsfragen und COVID-19-Prävention.

SARS-CoV-2 sowie die Krankheit COVID-19 stellen unsere Gesellschaft vor unerwartete und gänzlich neue logistische Herausforderungen. Mittlerweile wurde erkannt, dass vor allem in unzureichend belüfteten Innenräumen das Risiko einer Ansteckung mit SARS-CoV-2 erhöht ist. Mit großer Wahrscheinlichkeit spielen bei der Übertragung des Virus luftgetragene Aerosole, die sich wie ein nicht sichtbarer Nebel im Raum verteilen können, eine bedeutende Rolle [3]. Neben der Beachtung der allgemeinen Hygiene- und Abstandsregeln [4] und dem Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes [5] kann das Infektionsrisiko durch konsequente Lüftung, sachgerechten Einsatz von raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) sowie gegebenenfalls Raumluftreinigern deutlich reduziert werden.

Der Übertragungsweg von SARS-CoV-2 über Aerosole in der Luft wurde inzwischen erkannt und detailliert beschrieben [4, 6]. Auch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) weist darauf hin, dass SARS-CoV-2 neben der direkten Tröpfcheninfektion auch über luftgetragene Partikel übertragen werden kann [7]. In den Positionspapieren des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2 und zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen durch Einsatz von Luftreinigern zur COVID-

19-Prävention und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft¹ wurde dieses Thema im Detail beleuchtet. Im Rahmen des gegenständlichen Positionspapiers wird daher auf diesen Themenkreis nicht mehr weiter eingegangen und auf die genannten Positionspapiere verwiesen.

Um zu einer differenzierten Möglichkeit der Beurteilung von Innenräumen in Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit einer Infektion durch potenziell infektiöse Aerosolpartikel zu gelangen, kann das Risiko für eine mögliche Ansteckung mittels geeigneter Simulationsprogramme ermittelt werden. Derartige Abschätzungen erlauben ein Ranking von Räumen ausgehend von der gegebenen Lüftungssituation sowie der Anzahl und dem Verhalten der Nutzer. Simulationsprogramme können Gebäudebetreibern, Veranstaltungsorganisationen, Arbeitgebern und nicht zuletzt öffentlichen Stellen Orientierung bieten.

Der Arbeitskreis Innenraumluft spricht für die Beurteilung von Innenräumen in Hinblick auf das Risiko einer Infektion durch COVID-19 nachfolgende Empfehlungen aus, die sich am gegenwärtigen (Dezember 2020) Stand des Wissens orientieren. Die Erkenntnisse resultieren auch aus Simulationen von CO₂ als Hygieneparameter [8], Messungen und praktischen Erfahrungen in den letzten Jahrzehnten im Bereich mechanische Raumlüftung und Abtransport chemischer und biologischer Kontaminationen [9].

Ermittlung des Risikos einer Ansteckung durch infektiöse Aerosolpartikel

Als einer der Hauptübertragungswege für SARS-CoV-2 wird in den Simulationen die respiratorische Aufnahme virushaltiger Flüssigkeitspartikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen und Niesen entstehen, beschrieben [10]. Die Zahl und der Durchmesser der von einem Menschen erzeugten, potenziell virushaltigen Partikel hängen stark von der Atemfrequenz und der Aktivität ab. Selbst bei ruhiger Atmung werden (gegebenenfalls virushaltige) Partikel freigesetzt [11, 12]. Das Infektionsrisiko wird durch gleichzeitige Aktivitäten vieler Personen im Gebäude bzw. durch den Aufenthalt vieler Personen auf engem Raum erhöht. Zu den Aktivitäten, die vermehrt Partikel freisetzen, gehören lautes

¹ verfügbar unter bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum/arbeitskreis.html

Sprechen, Rufen, Singen oder körperliche Aktivität. Betroffen davon sind daher unter anderem Schulen, Sport- und Konzerthallen sowie diverse Veranstaltungsräume.

In der gebäudediagnostischen Praxis ist es vor allem in Pandemiezeiten erforderlich, konkrete Räume schnell und dennoch belastbar in Hinblick auf ein mögliches Infektionsrisiko einzuschätzen. Für praxisgerechte Aussagen ist es jedenfalls erforderlich, die konkreten Emissionssituationen wie „Atmen“, „Sprechen“ und „Lautes Sprechen/Singen“ zu quantifizieren und als Eingangsparameter in die Simulation aufzunehmen. Wie aus der gegenwärtig verfügbaren Fachliteratur [10, 12] hervorgeht, beeinflussen diese Faktoren in Kombination mit körperlicher Aktivität der Raumnutzer (Sitzen, Stehen, sportliche Aktivität) stark die Emissionssituation von anthropogenen Aerosolpartikeln. Auch die Verwendung eines Mund-Nasenschutzes (wenn möglich FFP2 oder gleichwertig) kann in diesem Zusammenhang eine nicht unbedeutende Rolle spielen [13, 14].

Auf die Art der Zuluft einbringung und Luftströmungen im Raum (die sich mit unterschiedlicher Belegung signifikant ändern können) oder Einbauten wie Möbel kann grundsätzlich mittels numerischer Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD) eingegangen werden. Vielfach ist es in der Praxis auf Grund der zahlreichen Unsicherheiten in Bezug auf wesentliche Parameter mit dieser Methode nur erschwert bis gar nicht möglich, exakte Risikoberechnungen durchzuführen, da die Methode sehr aufwändig ist. Für öffentlich zugängliche Simulationsprogramme ist die Vorgabe einfacher und nachvollziehbarer Eingabeparameter von entscheidender Bedeutung. In diesem Sinne müssen daher jene in mathematischen Modellen grundsätzlich erfassbaren Parameter wie die Verteilung von Aerosolen, ausgehend von einer Person, vereinfacht werden. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass von einer homogenen Verteilung der zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Raumluft vorhandenen Aerosole ausgegangen wird. Eine solche homogene Verteilung der vorhandenen Aerosole ist in für eine Infektion kritischen Situationen (nicht zu große Räume und niedriger Luftwechsel) zu erwarten und wurde schon messtechnisch nachgewiesen [15].

In der Realität spielen zusätzlich zu den Lüftungs- und aktivitätsabhängigen Parametern zahlreiche weitere medizinische Einflussfaktoren wie beispielsweise die individuelle Aerosolabgabe zu einem bestimmten Zeitpunkt, die Anzahl bzw. Dichte der Viren auf den luftgetragenen Partikeln oder die individuelle Viren-Aufnahmemenge durch die Atmung eine bedeutende Rolle. Es handelt sich um Faktoren, die in der Praxis nicht genau quantifiziert werden können und die auch zeitlich variabel sind.

Grundsätzlich sind zwei unterschiedliche Zugangsweisen zur Ermittlung des Risikos von Nutzern von Innenräumen, mit SARS-CoV-2 infiziert zu werden, denkbar, wobei beide Möglichkeiten Vor- und Nachteile aufweisen:

- die Ermittlung des absoluten Risikos
- die Berechnung des relativen Risikos im Vergleich zu einer Referenzsituation, wobei ein stationäres oder ein instationäres Modell gewählt werden kann

Ermittlung des absoluten Infektionsrisikos in Innenräumen

Ein konzentrationsabhängiges, statistisch begründetes „absolutes Risiko“ für die Aufnahme von anthropogen erzeugten, potenziell infektiösen Partikeln (Aerosolen), das an der jeweils konkret vorliegenden Infektionsrate der Bevölkerung ansetzt, kann mit Hilfe von gebäudebezogenen Faktoren wie den Raummaßen, der Belüftungssituation, der Belegung und von aktivitätsbezogenen Faktoren wie dem Atemvolumen, der Aktivität der Nutzer sowie virusbezogener Parameter – soweit diese bekannt sind – abgeschätzt werden (bspw. [16, 17]).

Bei Betrachtung des „absoluten Risikos“ gilt es eine Maßzahl zu finden, die das sich auf Grund der Infektionszahlen laufend verändernde absolute Risiko, auf Grund einer im gegenständlichen Innenraum stattgefundenen Infektion zu erkranken, abbildet. Ein bekannter Ansatz ist das Wells-Riley-Modell [18]. Das Infektionsrisiko wird hier auf Basis einer sogenannten „quanta concentration“ in der Raumluft ermittelt. Problematisch bei diesem Ansatz ist, dass wesentliche Effekte wie bspw. die Aerosolabgabe einer infizierten Person, die Beladung der Aerosole mit Viren (Virenlast), die Lebensdauer sowie die Depositions- und Abbaurate der Viren im Aerosol in weiten Bereichen streuen oder aber gänzlich unbekannt sind. Einige weitere Aspekte von SARS-CoV-2 sind nicht abschließend untersucht, wie beispielsweise in welchen Mengen das Virus auftritt oder wie viele Viren über welche Aerosol-Größenfraktionen transportiert werden. Deshalb müssen für derartige Simulationen Annahmen getroffen werden, die sich möglicherweise im Nachhinein anhand der dann verfügbaren Daten als richtig oder falsch herausstellen können.

Eine weitere Schwierigkeit ist, dass bei Berechnung des „absoluten Risikos“ Infektionswahrscheinlichkeiten erhalten werden, die weitgehend ohne Bezug zu anderen, dem Laien bekannten tagtäglichen Risiken im Raum stehen und daher in der Hauptsache nur für

Fachleute nutzbar sind. Das individuelle Risiko lässt sich damit immer noch nicht angeben, da die Virendosis, welche notwendig ist, um bei einer bestimmten Person eine Infektion auszulösen, auch stark von individuellen Eigenschaften wie insbesondere dem Immunstatus abhängt. Die Berechnung des absoluten Risikos bringt jedoch auch Vorteile: Es ermöglicht die Einordnung von Situationen in klassische toxikologische Kategorien und erlaubt – bei allen Unsicherheiten – einen Vergleich mit anderen Risiken wie Rauchen, Autofahren oder Radioaktivität.

Ermittlung des relativen Infektionsrisikos in Innenräumen

Um diverse Schwierigkeiten und Unsicherheiten der Berechnung des „absoluten Risikos“ zu umgehen, kann das relative Risiko im Verhältnis zu einer Referenzsituation betrachtet werden. In diesem Fall wirken sich einzelne virusbezogene und zum Teil noch weitgehend unbestimmte oder variable medizinische Parameter nicht auf das Ergebnis aus, wenn diese sowohl in der Simulation der konkreten Raumsituation als auch in der Berechnung der Referenzsituation exakt gleich angenommen werden und sich dadurch mathematisch aufheben. Das relative Infektionsrisiko „ R “ wird dabei näherungsweise linear abhängig von der Anzahl der eingeatmeten, infektiösen Aerosolpartikel modelliert [19]. Basis für derartige Berechnungen sind auch hier wie bei allen Risikoberechnungen quantitative Abschätzungen des Atemvolumens und der Atemaktivität sowie der Emissionsrate von Aerosolen [10, 12].

Für einen vereinfachten Ansatz zur Bewertung des Infektionsrisikos in einem mit potenziell virustragenden Aerosolen belasteten Raum wird vereinfachend angenommen, dass das Infektionsrisiko mit der Anzahl der eingeatmeten Viren linear ansteigt [20]. Das Risiko sich zu infizieren ist in diesem Modell somit proportional zur Anzahl der eingeatmeten Viren. Diese Betrachtung entspricht einer Linearisierung des Wells-Riley-Modells, wobei hier die Virenmenge nicht in Form von „quantum“, sondern als Anzahl an Viren berücksichtigt wird. Die Gültigkeit dieser Linearisierung konnte bisher nicht überprüft werden, ist aber in diesem Zusammenhang eine wichtige Annahme, um eine Quantifizierung der medizinischen Effekte, die für eine Aerosolübertragung maßgeblich sind, zu umgehen. Bezieht man das Risiko auf eine standardisierte Referenzsituation, ergibt sich ein zeitabhängiger relativer Risikofaktor R , dessen Wert sich je nach den gewählten Randparametern verändern kann.

Mit einem Relativrisiko-Berechnungsmodell kann abgeschätzt werden, welches auf einen Referenzzustand normiertes relatives Infektionsrisiko besteht. Eine derartige Abschätzung kann für Entscheidungen auf politischer und lokaler Ebene hilfreich sein. Es kann Grundlagen liefern, um die Frage zu beantworten, in welchen Räumen besondere Vorkehrungen für den Infektionsschutz getroffen werden sollen. In solchen Fällen können bestimmte typische Innenraumsituationen mit Hilfe von stationären Berechnungen direkt miteinander verglichen werden, um bspw. eine bestimmte Mindestzufuhr von unbelasteter Außenluft, abhängig von der jeweiligen Nutzung, vorzugeben. Berechnungen helfen auch zu entscheiden, ob eine Erhöhung des außenluftäquivalenten Luftwechsels durch geeignete Luftreiniger sinnvoll ist. Ein Beispiel dafür ($35 \text{ m}^3/\text{Person und Stunde}$) ist in einer Empfehlung der Gemeinde Wien für Kulturbetriebe [21] enthalten.

Ein wichtiger Punkt in Bezug auf die Höhe des Risikos ist die Frage, ob man einen Raum betritt, in dem sich schon seit längerer Zeit eine infizierte Person befindet oder ob diese Person zum gleichen Zeitpunkt den Raum betritt. Im letzteren Fall ist vor allem bei geringem Luftwechsel und kurzen Aufenthaltszeiten (bspw. bei einem kürzeren Kino- oder Theaterbesuch, bei Singübungen) ein deutlich geringeres Risiko im Vergleich zur stationären Ausgleichssituation gegeben, da die Konzentration potenziell virusbelasteter Aerosole im Raum einer vom Luftwechsel abhängigen Anstiegsfunktion folgt.

Um die Zeitabhängigkeit des Risikos abzubilden und bspw. Fensterlüftungsintervalle in die Betrachtung mit einzubeziehen, kann ein instationärer Ansatz gewählt werden (z.B. VIRSIM [22]). Eine instationäre Berechnung kann für den Gebäudebetreiber oder Anwender im konkreten Fall hilfreich sein, um gezielte und in ihrer Wirkung kontrollierbare Maßnahmen zu ergreifen (z.B. Definition der notwendigen Fensterlüftungsintervalle, maximale Aufenthaltszeiten, Pausenregelungen oder maximale Anzahl an Arbeitsplätzen in einem Raum). Die Berechnungen zeigen, dass große Unterschiede im Risiko zwischen Räumen mit und ohne raumluftechnischer Anlage vorhanden sind. Aufenthaltsräume in Wellnessbereichen (Thermen) zeigen in der Regel geringe Risiken in Hinblick auf den Übertragungsweg Aerosole, auch Theater und Messehallen mit entsprechender Lüftung sind in der Regel als eher unproblematisch anzusehen. Vergleichsweise hohe Risiken ergeben sich in Schul- und Unterrichtsräumen mit reiner Fensterlüftung (siehe Beispiele im Anhang), auch wenn in den Pausen geregelt gelüftet und ein Mund-Nasenschutz getragen wird. Geeignete Raumlufthereinigungsgeräte können das Risiko signifikant senken.

Ein Nachteil der Berechnung eines „relativen Risikos“ ist, dass grundsätzlich keine Anbindung an bzw. kein Vergleich mit Alltagsrisiken wie Rauchen, Autofahren oder Radioaktivität stattfinden kann. Eine Möglichkeit, siehe [19], wäre es, die Referenzsituation einer Risikobewertung in Hinblick auf das absolute Risiko zu unterziehen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass sich dieser Wert mit der Durchseuchung der jeweiligen Bevölkerung eines Landes, einer Region und/oder einer bestimmten Gruppe, die den jeweiligen Innenraum nutzt (bspw. junge oder alte Menschen), signifikant über die Zeit ändert.

Die Referenzsituation bei der Ermittlung des relativen Infektionsrisikos in Innenräumen

Zur Berechnung des relativen Risikos kann beispielsweise auf eine standardisierte Referenzsituation in einem Innenraum zurückgegriffen werden. Diese wird in [19, 22] mit folgenden Parametern beschrieben:

- 25 erwachsene Personen als Raumbesetzung
- 200 m³ Raumvolumen (66,7 m² Grundfläche, 3 m Raumhöhe)
- Außenluftvolumenstrom 35 m³/h je Person (Luftwechsel 4,375 h⁻¹)
- geringe körperliche Aktivität: sitzende Personen
- Atemaktivität: alle Personen sitzen (Faktor 1,1 oder 1,2 gegenüber „ruhen“)
- Sprachaktivität: eine der 25 Personen spricht (Aktivitätsfaktor 4,76 gegenüber „nur atmen“), während alle anderen nur atmen
- Ausgleichssituation: Dies bedeutet, dass die Anzahl der von der infizierten Person erzeugten und die Anzahl der durch die Lüftung des Raumes abgeführten Aerosolpartikel gleich sind.
- Nutzer tragen keinen Mund-Nasenschutz

Bei dem für die Referenzsituation gewählten Außenluftvolumenstrom von 35 m³/h je Person stellt sich im Raum eine CO₂-Gleichgewichtskonzentration von etwa 1000 ppm ein, wenn Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung durchgeführt werden (z.B. sitzende Tätigkeit). Dieser Wert basiert auf dem empfohlenen personen- und flächenbezogenen

Luftstrom der Kategorie II nach DIN EN 15251². Eine solche Expositionssituation wird in Bezug auf die Raumluftqualität, zur Beurteilung des Lüftungsverhaltens und in Hinblick auf den hygienisch erforderlichen Luftwechsel als „akzeptabel“ definiert. Diese Situation entspricht sowohl den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung an Arbeitsplätze³ bei mechanisch belüfteten Räumen, den Vorgaben der Klasse 2 der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft [24], als auch den Vorgaben des österreichischen Leitfadens für den Kulturbetrieb in Pandemiezeiten des Zentrums für Public Health der Medizinischen Universität Wien [21]. Beim Tragen eines Mund-Nasenschutzes (keine Visiere) wurde eine Reduktion der Infektiosität von deutlich über 50% nachgewiesen [23], konservativ kann in einer vereinfachten Darstellung ein Faktor von 0,5 gegenüber der Referenzsituation gewählt werden, bei Tragen von FFP2-Masken eventuell ein höherer Faktor.

Das relative Risiko R auf Grund des Aufenthalts im Referenzraum hat laut Definition den Zahlenwert 1. Zahlenwerte über 1 weisen auf ein erhöhtes statistisches Risiko hin, Zahlenwerte unter 1 auf ein geringeres Risiko als in der Referenzsituation (siehe Beispiele im Anhang). In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass es sowohl bei der Referenzsituation als auch niedrigen Werten des Faktors R nicht möglich ist, einen 100-prozentigen Schutz vor Infektionen mit SARS-CoV-2 in Innenräumen zu erreichen.

Methodische Einschränkungen von Simulationsprogrammen

Bei der Berechnung von Risiken mit Simulationsprogrammen wird aus pragmatischen Gründen in der Regel eine stark vereinfachte Situation zu Grunde gelegt. Da einzelne Parameter, die nicht vollständig bekannt sind, oder Faktoren, die sich mit der Zeit ändern können, abgeschätzt werden, führt dies bei den Ergebnissen zu einer nicht zu vermeidenden Unschärfe. Sämtliche mögliche lokale Effekte im direkten Nahbereich eines Viren-emittenten werden bei Simulationen der Aerosol-Übertragung nicht berücksichtigt. Das bedeutet beispielsweise, dass klassische Tröpfcheninfektionen, die durch Husten oder Niesen im Nahbereich verursacht werden können, von derartigen Simulationsprogrammen in der Regel nicht berücksichtigt werden. In Situationen, bei denen Nahbereichseffekte gegenüber Effekten der Aerosolinfektion überwiegen, beispielsweise wenn der Sicherheitsabstand zwischen Personen nicht eingehalten wird wie beim „in der Schlange

² DIN EN 15251: Eingangssparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. 2012 12

³ Arbeitsstättenverordnung AStV, BGBl. II Nr. 368/1998

Stehen“ oder beim engen Nebeneinandersitzen, müssen andere Methoden zur Risikoabschätzung herangezogen werden.

Es wird im Rahmen der Vereinfachungen eines Simulationsmodells angenommen, dass das Konzentrationsfeld im Raum „homogen“ ist, d. h. die Aerosol-Konzentration zu einem bestimmten Zeitpunkt überall im Raum gleich groß ist. Die Risikoabschätzung basiert also auf zeitabhängigen Werten, die Positionen der exponierten Personen im Raum und deren Einfluss auf Strömungsverhältnisse im Raum wird nicht berücksichtigt. Räume mit ausgeprägten Luftströmungen im Raum müssen daher mit anderen Methoden (bspw. CFD) detaillierter betrachtet werden. Als weitere Konsequenz des homogenen Konzentrationsfeldes folgt, dass die reale Situation in sehr großen Räumen nicht präzise abgebildet wird. Hier ist im individuellen Fall die Eignung des Simulationsprogramms zu prüfen.

Simulationsprogramme sind zusammenfassend als ein Hilfsmittel zur situativen Beurteilung des Infektionsrisikos über potenziell virenbelastete Aerosole in einem Innenraum zu betrachten, haben aber ihre methodischen Grenzen, die berücksichtigt werden müssen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu bedenken, dass zusätzlich zu den genannten Unsicherheiten individuelle Faktoren (z.B. Intensität der bei einer realen infizierten Person gegebenen Virenabgabe, tatsächliche Verteilung der Aerosole ausgehend von einer oder mehreren infizierten Personen in einem realen Raum, usw.) eine bedeutende Rolle spielen.

Eignung von CO₂ als Indikator für das Infektionsrisiko

Der Mensch selbst stellt mit seinen verschiedenen Exhalationsprodukten und Ausdünstungen eine maßgebliche Quelle verschiedener Luftverunreinigungen im Innenraum dar. CO₂ gilt deshalb als Leitparameter für von Menschen verursachte Luftverunreinigungen, da der Anstieg der CO₂-Konzentration in Innenräumen gut mit dem Anstieg der Geruchsintensität menschlicher Ausdünstungen sowie der Menge an flüchtigen organischen Verbindungen, die wiederum – zumindest zum Teil – als Träger des vom Körper ausgehenden Geruchs angesehen werden können, korreliert [24, 25]. Der Zusammenhang zwischen dem Anteil an Unzufriedenen und der CO₂-Konzentration lässt sich mittels einer Formel annähern [26]. Eine fixe Grenze, ab der die Raumluftqualität als unzureichend bezeichnet wird, kann jedoch nicht angegeben werden. Die Relevanz für die Innenraumlufthygiene wurde schon Mitte des 19. Jahrhunderts erkannt (Pettenkofer-Zahl, [27]). Untersuchungen zeigen, dass niedrige CO₂-Konzentrationen zu deutlichen Leistungsgewinnen führen [z.B.

28]. Anthropogen erzeugtes CO₂ wird daher seit Jahrzehnten mit einer Konzentration von 1000 ppm sowohl im regulatorischen Bereich [24] als Richtwert als auch in der Haustechnik als Regelgröße für Lüftungstechnische Anlagen herangezogen.

Die wesentliche Bedeutung des Indikators CO₂ für die COVID-19-Prävention liegt darin, dass CO₂ mit bestimmten Einschränkungen als Maßzahl für die Nutzungsintensität eines Raumes durch Menschen herangezogen werden kann und dessen Konzentration durch einfache CO₂-Messgeräte relativ leicht zu ermitteln ist. CO₂-Messgeräte, die einen Farbcode aufweisen und die unterschiedlichen Konzentrationsbereiche anschaulich durch Farben von grün zu gelb zu rot darstellen, werden auch „Lüftungsampeln“ genannt.

CO₂ ist jedenfalls eine gute Maßzahl für die Atemaktivität der Nutzer der Räume. Im Fall von Situationen, die der beschriebenen Standardsituation in Hinblick auf die Sprachaktivität nahekommen (4% Sprecher, d. h. eine von 25 Personen), können daher CO₂-Messgeräte oder Lüftungsampeln einen relativ guten Hinweis auf das Risiko einer Infektion durch SARS-CoV-2 oder andere Viren geben [19]. Hier ist es möglich, den allgemein bekannten Wert von 1000 ppm als praktikable Grenze für die Notwendigkeit von Lüftungsmaßnahmen zu definieren, da in diesem speziellen Fall eine annähernd lineare Abhängigkeit des Risikos von der CO₂-Konzentration besteht – 1000 ppm CO₂ entspricht dabei bei der Berechnung gemäß der in [19] und [22] genannten Quellen in etwa einem relativen Risiko von 1.

In Situationen mit weniger Sprechern, wie bspw. in Theatern, Kinos oder dergleichen, würde das Heranziehen der CO₂-Konzentration zur Risikobewertung das Risiko einer Infektion durch SARS-CoV-2 leicht überschätzen. Bei Betrieb eines Luftreinigungsgerätes zur Entfernung von Aerosolen (zum Beispiel mittels HEPA-Filter oder UV-Desinfektion) ist die herrschende CO₂-Konzentration zwar ein guter und wichtiger Hinweis auf die allgemeine Lüftungssituation, die Werte sind jedoch zur Beurteilung des Risikos einer Infektion durch SARS-CoV-2 gänzlich ungeeignet. In diesem Fall würde das Risiko grob überschätzt, da Luftreinigungsgeräte mit Filter zwar die Menge an Aerosolen, nicht aber die Konzentration an CO₂ verringern. Ähnliches gilt für den Mund-Nasenschutz, speziell für die Verwendung von FFP-Schutzmasken: Wird ein solcher getragen, kommt es bei Verwendung von CO₂ als Beurteilungsgröße zu einer deutlichen Überschätzung des Risikos.

In Situationen, in denen mehr als 4% der Anwesenden sprechen bzw. wo laut gesprochen oder gar gesungen wird (bspw. in Gastronomiebetrieben, in Bars oder bei Sportveranstaltungen), ist davon auszugehen, dass das Risiko bei Verwendung von CO₂ als Indikator zum Teil grob unterschätzt wird. Der Grund liegt darin, dass das Verhältnis der Aerosolabgabe zwischen „Atmen“ und „Sprechen“ gemäß [10] beim Faktor von etwa 5 liegt und das zwischen „Atmen“ und „Laut Sprechen“ bzw. „Singen“ etwa beim Faktor 30. Diese zu erwartende Erhöhung der Aerosolabgabe ist zwar mit einer gewissen Erhöhung der CO₂-Abgabe der Sprechenden oder Singenden verbunden, jedoch bei weitem nicht in diesem hohen Verhältnis im Vergleich zum stillen „Atmen“.

Zusammenfassend eignen sich CO₂-Messgeräte oder Lüftungsampeln zur Bewertung des Risikos, sich in Innenräumen mit COVID-19 anzustecken, für typische Schul- oder Vortrags-situationen, solange keine erhöhte körperliche Aktivität oder lautes Sprechen oder Singen mehrerer Personen eine Rolle spielen, aber auch für eine Einschätzung von Räumen im klassischen Kulturbetrieb. In diesen Fällen sollte der arithmetische Mittelwert der Momentanwerte an CO₂ im jeweiligen Beurteilungszeitraum (dies ist der Zeitraum, in dem sich die betreffende Person im Raum befindet) nicht über dem Wert von 1000 ppm CO₂ absolut liegen. In jedem Fall muss trotzdem eine individuelle Einzelbetrachtung des betreffenden Raumes erfolgen – siehe dazu die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft – CO₂ als Lüftungsparameter des BMK [24].

In Räumen, in denen von mehreren Leuten gesprochen und/oder gesungen, in denen ein Mund-Nasenschutz getragen oder in denen ein Luftreiniger eingesetzt wird, liefern CO₂-Messgeräte oder Lüftungsampeln nur Hinweise auf die aktuelle Lüftungssituation in Bezug auf die allgemeine Innenraumlufthygiene. Zur Bewertung des Risikos, sich mit COVID-19 anzustecken, erweist sich dagegen die CO₂-Konzentration in solchen oder ähnlich gelagerten Fällen als gänzlich ungeeignet.

Literatur

1. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2020): COVID-19-Hygiene- und Präventionshandbuch für öffentliche Schulen, Privatschulen mit Öffentlichkeitsrecht und eingegliederte Praxisschulen an den Pädagogischen Hochschulen. bmbwf.gv.at/Ministerium/Informationspflicht/corona/corona_schutz.html
2. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2020): COVID-19-Hygiene- und Präventionshandbuch für elementarpädagogische Einrichtungen. bmbwf.gv.at/Ministerium/Informationspflicht/corona/corona_schutz.html
3. Morawska L, Cao J (2020): Airborne transmission of SARS-CoV-2: the world should face the reality. Environ. Int. 105730. doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730
4. Österreichische Gesellschaft für Hygiene, Mikrobiologie und Präventivmedizin (ÖGHMP): Sinnvolle hygienische Maßnahmen gegen die Übertragung von SARS-CoV-2 vom 18.05.2020
5. Chu DK, Akl EA, Duda S, Solo K, Yaacoub S, Schünemann HJ on behalf of the COVID-19 Systematic Urgent Review Group Effort (SURGE) study authors (2020): Physical distancing, face masks and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. The Lancet 395, 1973-1987
6. Morawska L, Milton D (2020): It is time to address airborne transmission of COVID-19. Clinical Infectious Diseases. doi.org/10.1093/cid/ciaa939
7. WHO (2020): Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. 9 July 2020. who.int/news-room/commentaries/detail/transmission-of-sars-cov-2-implications-for-infection-prevention-precautions
8. Simulationsprogramm CO2-SIM 4.1. Simulationsprogramm zur Berechnung der zu erwartenden CO₂-Konzentrationen in Innenräumen. IBO Innenraumanalytik OG. raumluft.linux47.webhome.at/rlt-anlagen/co2-rechner/
9. Wallner P, Muñoz-Czerny U, Tappler P, Wanka A, Kundi M, Shelton JF, Hutter H-P (2015): Indoor environmental quality in mechanically ventilated, energy-efficient buildings

vs. conventional buildings. International Journal of Environmental Research and Public Health 12, 14132-14147. doi: 10.3390/ijerph121114132

10. Buonanno G, Stabile L, Morawska L (2020): Estimation of airborne viral emission: quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. Environment International 141, 105794. doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794

11. 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>

12. Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves M, Mengersen K, Corbett S, Chao CYH, Li Y, Katoshevski D (2009): Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. Journal of Aerosol Science 40, 256-269

13. Whiley H, Keerthirathne TP; Nisar MA, White MAF, Ross KE (2020): Viral Filtration Efficiency of Fabric Masks Compared with Surgical and N95 Masks. Pathogens 9, 762. doi: 10.3390/pathogens9090762

14. Zangmeister CD; Radney JG, Vicenzi EP, Weaver JL (2020): Filtration Efficiencies of Nanoscale Aerosol by Cloth Mask Materials Used to Slow the Spread of SARS-CoV-2. ACS nano 14, 9188–9200. doi: 10.1021/acsnano.0c05025

15. Schnieders J (2003): Wirkung von Position und Art der Lüftungsöffnungen auf den Schadstoffabtransport. Protokollband Nr. 23 Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III. Hrsg. Passivhaus Institut Darmstadt

16. Lelieveld J, Helleis F, Borrmann S, Cheng Y, Drewnick F, Haug G, Klimach t, Sciare J, Su H, Pöschl U (2020): Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 8114. mdpi.com/1660-4601/17/21/8114/htm

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

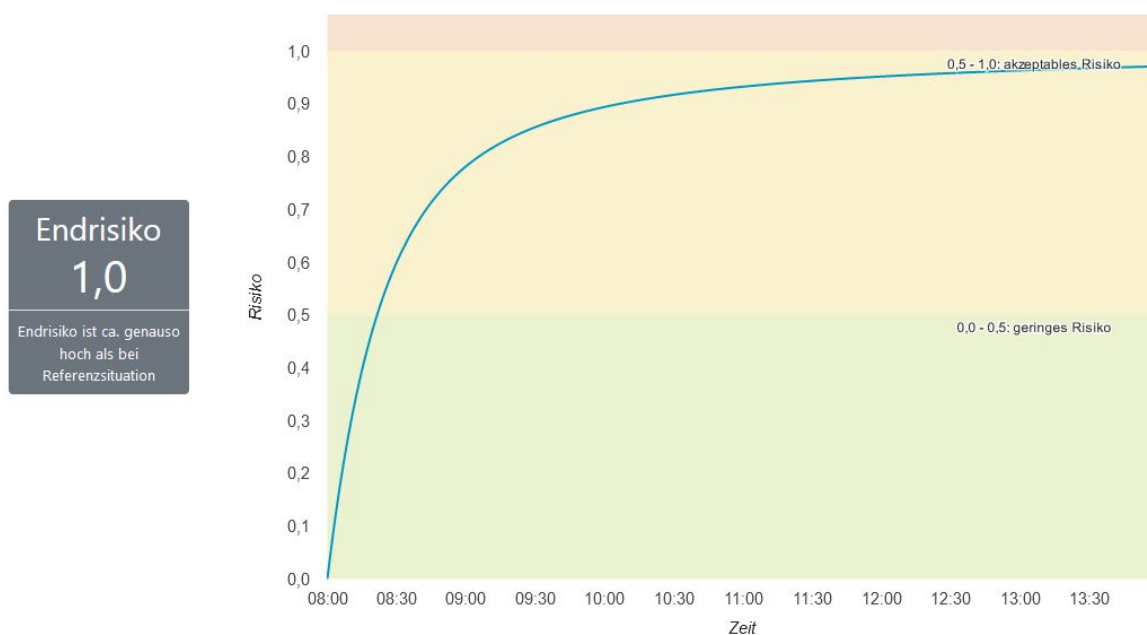
18. Riley E C, Murphy G, Riley R L (1978): Airborne spread of measles in a suburban elementary school. In: American Journal of Epidemiology 107, 421–432.
academic.oup.com/aje/article-abstract/107/5/421/58522
19. Müller D, Rewitz K, Derwein D, Burgholz TM, Schweiker M, Barday J, Tappler P (2020): Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen. Report (white paper). RWTH-EBC 2020-005, Aachen, 2020,
<https://doi.org/10.18154/RWTH-2020-11340>
20. Müller D, Rewitz K, Derwein D, Burgholz TM (2020): Vereinfachte Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen. Report (white paper). [dx.doi.org/10.18154/RWTH-2020-08332](https://doi.org/10.18154/RWTH-2020-08332)
21. Zentrum für Public Health der Medizinischen Universität Wien, Abteilung für Umwelt-hygiene und Umweltmedizin (2020): Kultur in Zeiten der COVID19-Epidemie in Österreich: Leitfaden für den Kulturbetrieb (13.05.2020)
22. Simulationsprogramm VIR-SIM 2.1. Instationäres Simulationsprogramm zur Berechnung des Risikos einer Infektion durch SARS-CoV-2 in Innenräumen.
23. Mitze T, Kosfeld R, Rode J, Wälde K (2020): Face masks considerably reduce COVID-19 cases in Germany. Proceedings of the National Academy of Sciences.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2015954117>
24. BMNT (2017): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, Kohlenstoffdioxid als Lüftungsparameter. Überarbeitete Fassung, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (derzeit Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, BMK) unter Mitarbeit der österreichischen Akademie der Wissenschaften
25. Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO (2000): The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity. Indoor Air 10: 222-236
26. ECA (1992): Ventilation Requirements in Buildings. Report No 11. European Concerted Action – Indoor Air Quality & its Impact on Man. Commission of the European Communities, Joint Research Centre

27. Pettenkofer M von (1858): Über den Luftwechsel in Wohnungen. Cotta, München

28. Petersen S, Jensen KL, Pedersen ALS Rasmussen HS (2016): The effect of increased class-room ventilation rate indicated by reduced CO₂ concentration on the performance of schoolwork by children. Indoor Air 26, 366-379

Anhang: Berechnungsbeispiele

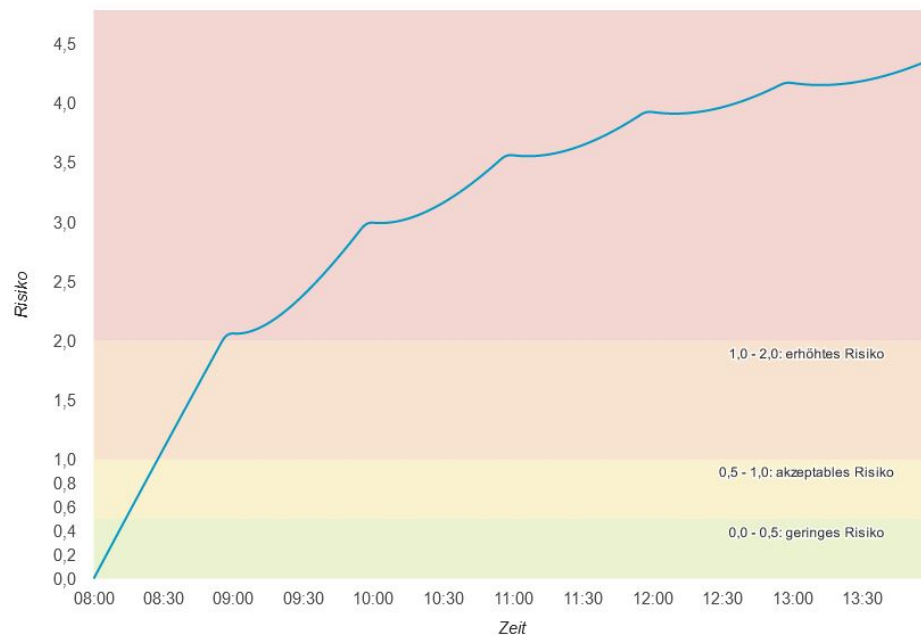
In der Folge werden Berechnungsbeispiele des instationären, relativen Risikos, berechnet mit dem Programm VIR-SIM 2.1, angeführt⁴. Auf den Grafiken wird das zeitabhängige relative Risiko R , sich in einem Raum mit COVID-19 über den Übertragungsweg Aerosole anzustecken, dargestellt – dies im Verhältnis zu einem Referenzraum im Gleichzustand bezüglich anthropogener Emissionen, dessen Lüftungssituation als akzeptabel angesehen wird und der definitionsgemäß das Endrisiko $R = 1$ hat (35 m³ Zuluft pro Person und Stunde, 200 m³ Raumgröße, ein stehender Sprecher, 24 Personen, die sitzen und nur atmen, ohne MNS). Dies entspricht bspw. einem gut gelüfteten Vortrags- oder Unterrichtsraum mit raumluftechnischer Anlage.



Vortragsraum, wie Referenzsituation, jedoch instationär (alle Personen betreten den Raum gleichzeitig), 200 m³, Belegung 25 Erwachsene (24 Personen sitzen und atmen, 1 Person steht und spricht), Zuluftvolumen RLT-Anlage 875 m³/h ($LW = 4,4 \text{ h}^{-1}$), keine Fensterlüftung, kein Mund-Nasenschutz, Werte nach 6 Stunden Aufenthalt

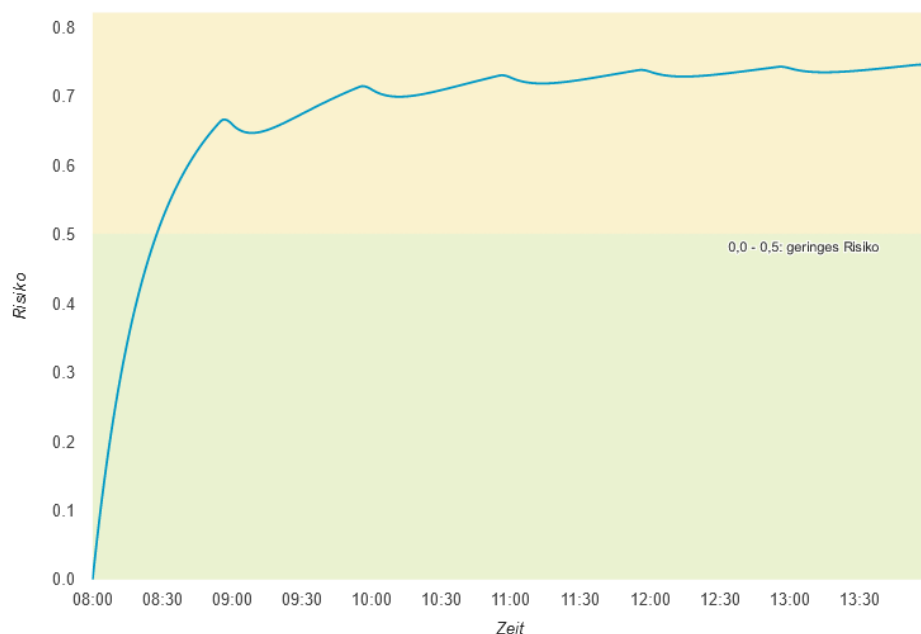
⁴ <https://www.corona-rechner.at/>

Endrisiko
4,3
Endrisiko ist 4,3-mal
höher als bei
Referenzsituation

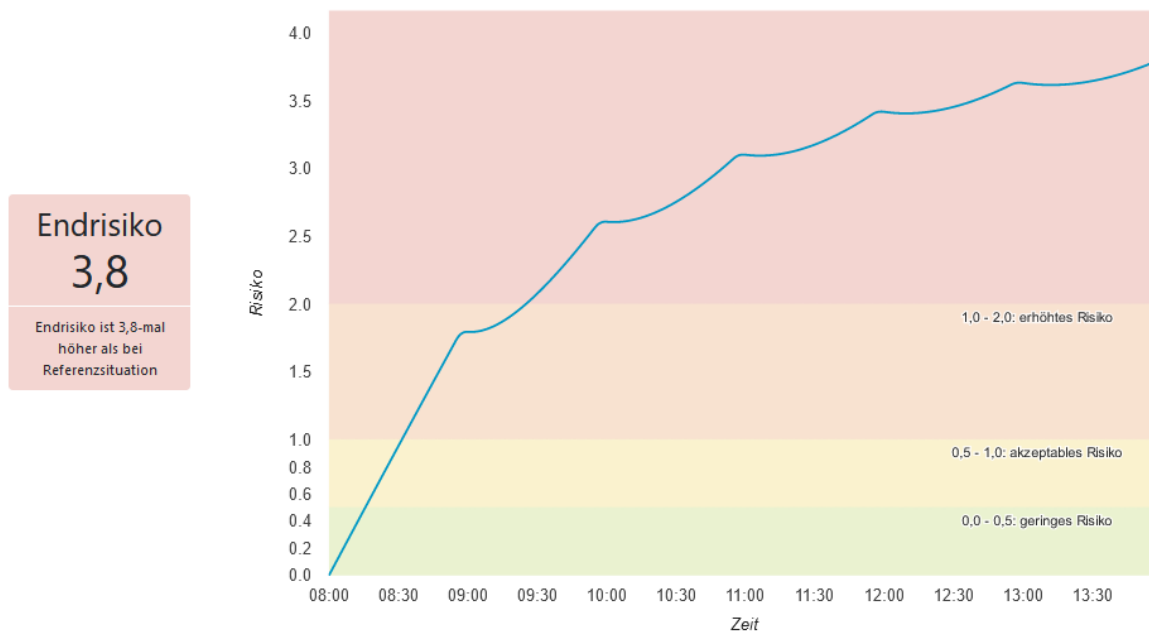


Vortragsraum, 200 m³, Belegung 25 Erwachsene (24 Personen sitzen und atmen, 1 Person steht und spricht), sehr dichte Fenster (Neubau, LW = 0,05 h⁻¹), Fensterlüftung 5 Minuten jeweils nach 55 Minuten, ohne Mund-Nasenschutz, Werte nach 6 Stunden Aufenthalt

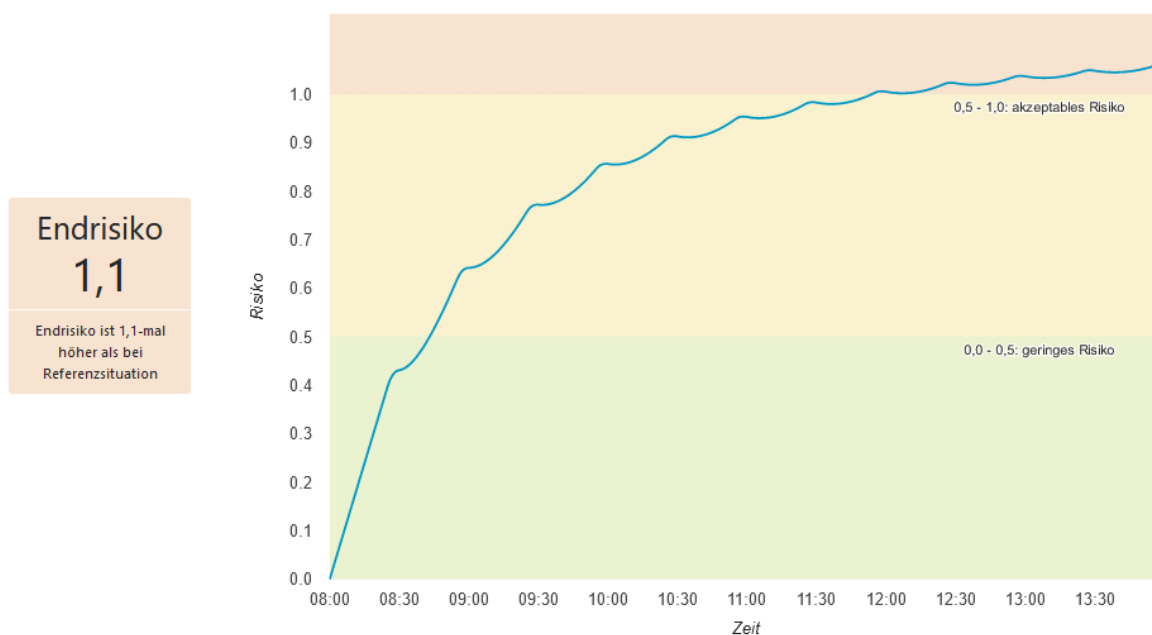
Endrisiko
0,7
Endrisiko ist 1,3-mal
geringer als bei
Referenzsituation



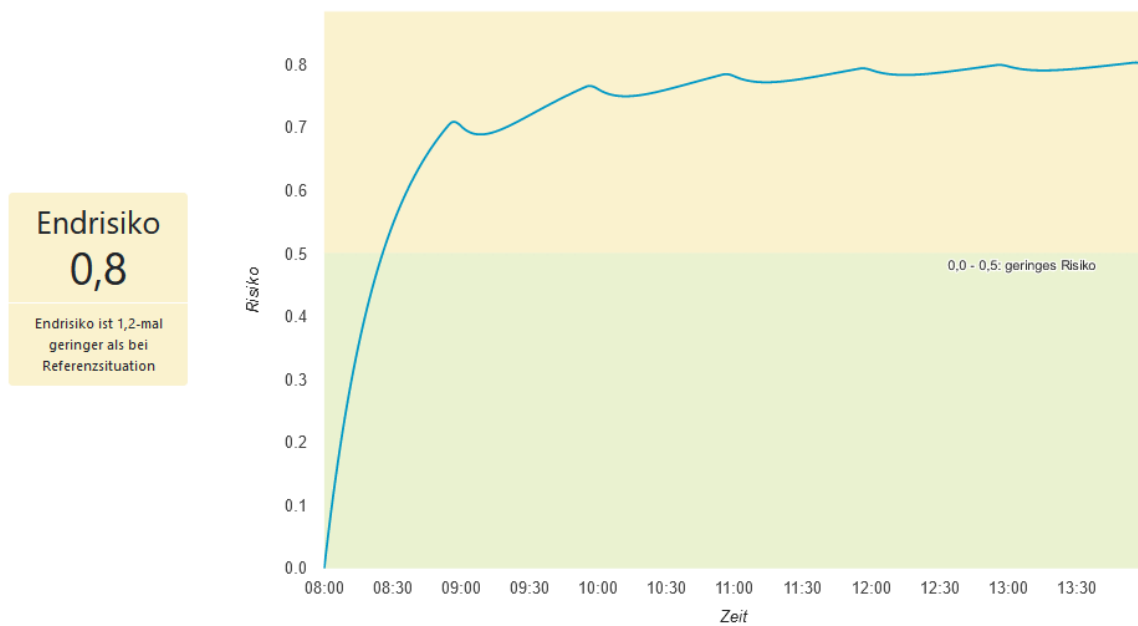
Schulklasse, 200 m³, Belegung 25 Personen (24 16-jährige Jugendliche sitzen und atmen, 1 Lehrperson steht und spricht), Zuluftvolumen RLT-Anlage 675 m³/h (LW = 4,4 h⁻¹), zusätzlich Fensterlüftung 5 Minuten jeweils nach 55 Minuten, ohne Mund-Nasenschutz, Risikowerte für Jugendliche nach 6 Stunden Schulunterricht



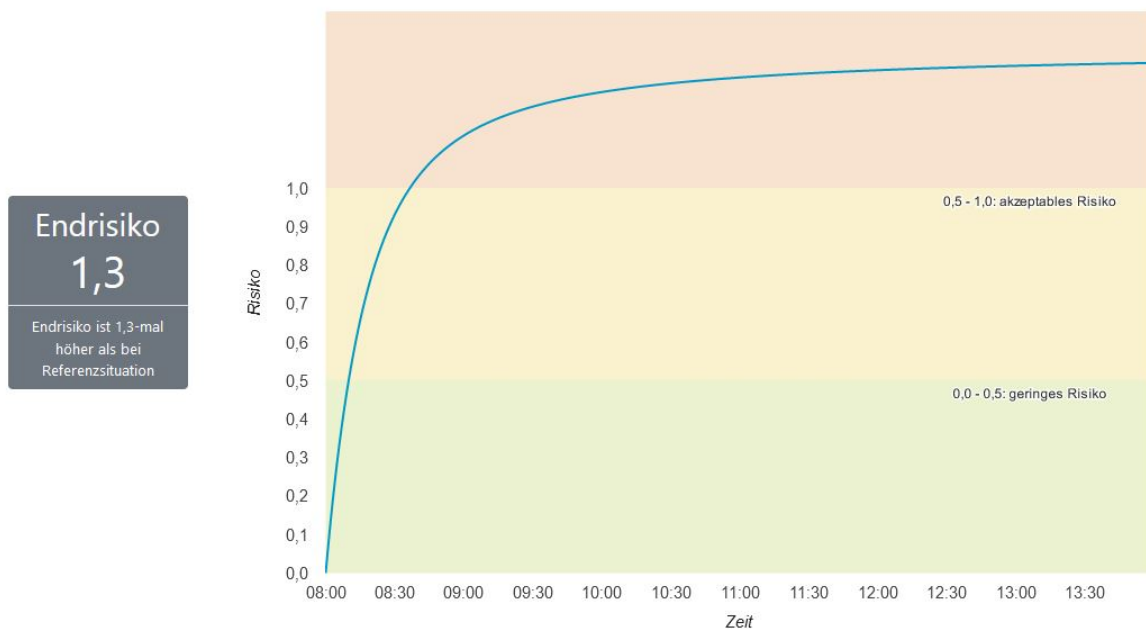
Schulklasse, 200 m³, Belegung 25 Personen (24 16-jährige Jugendliche sitzen und atmen, 1 Lehrperson steht und spricht), sehr dichte Fenster (Neubau, LW = 0,05 h⁻¹), Fensterlüftung 5 Minuten jeweils nach 55 Minuten, ohne Mund-Nasenschutz, Risikowerte für Jugendliche nach 6 Stunden Aufenthalt



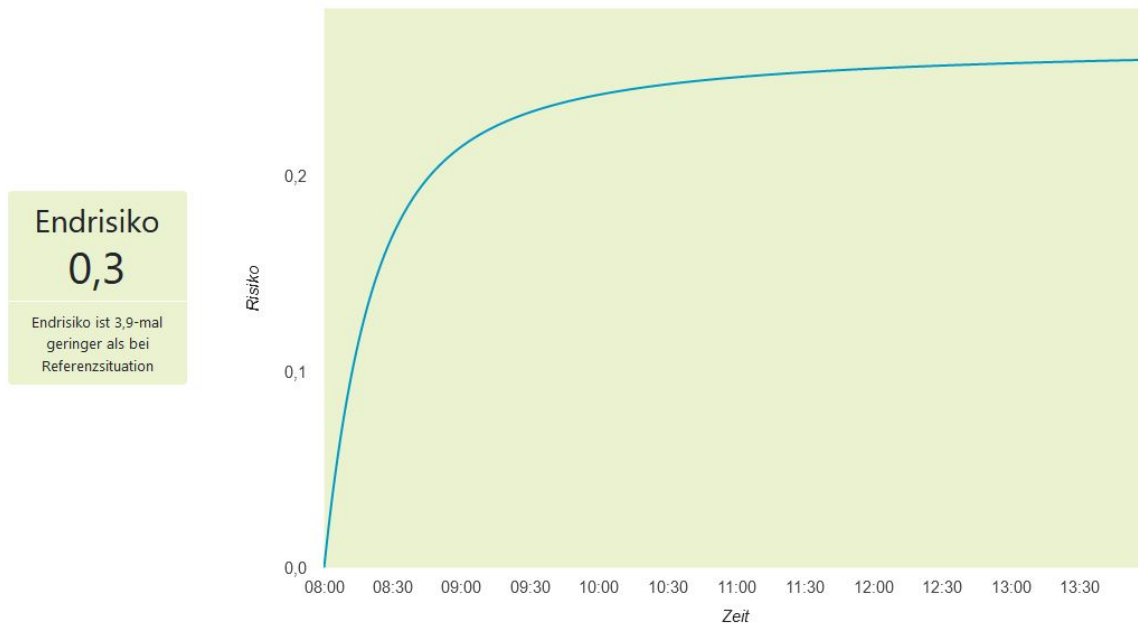
Schulklasse, 200 m³, Belegung 25 Personen (24 16-jährige Jugendliche sitzen und atmen, 1 Lehrperson steht und spricht), sehr dichte Fenster (Neubau, LW = 0,05 h⁻¹), **Fensterlüftung 5 Minuten jeweils nach 25 Minuten, mit Mund-Nasenschutz**, Risikowerte für Jugendliche nach 6 Stunden Aufenthalt



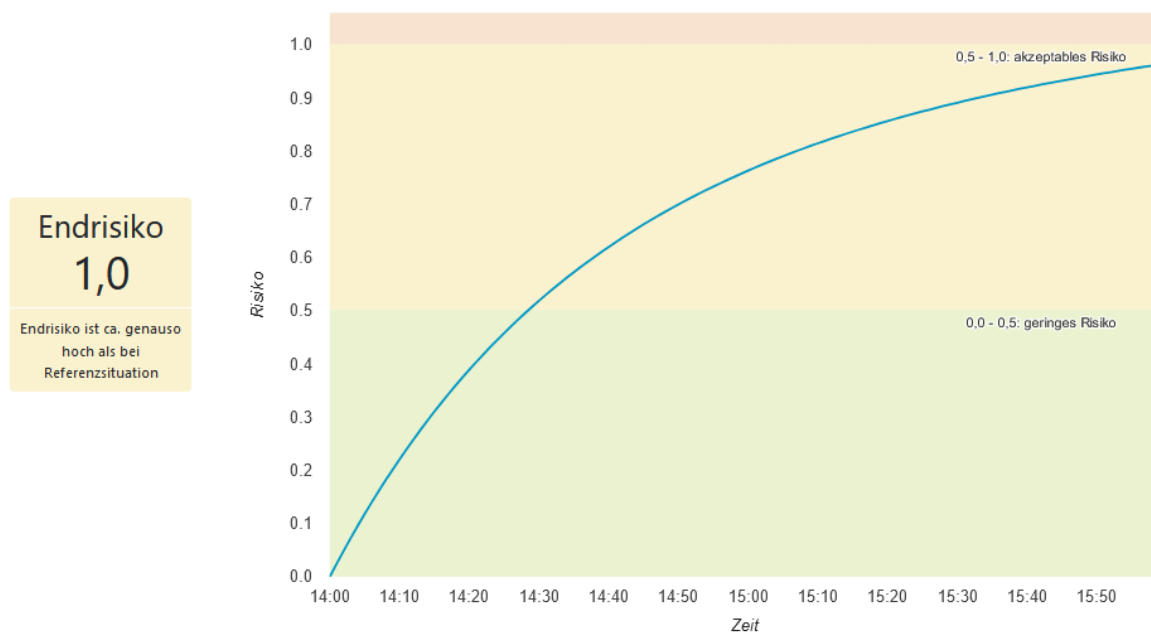
Schulklasse, 200 m³, Belegung 25 Personen (24 16-jährige Jugendliche sitzen und atmen, 1 Lehrperson steht und spricht), sehr dichte Fenster (Neubau, LW = 0,05 h⁻¹), zusätzlich **außenluftäquivalenter Luftwechsel über Raumluftreinigungsgerät 800 m³/h (LW = 4 h⁻¹)**, Fensterlüftung 5 Minuten jeweils nach 55 Minuten, **ohne Mund-Nasenschutz**, Risikowerte für Jugendliche nach 6 Stunden Aufenthalt



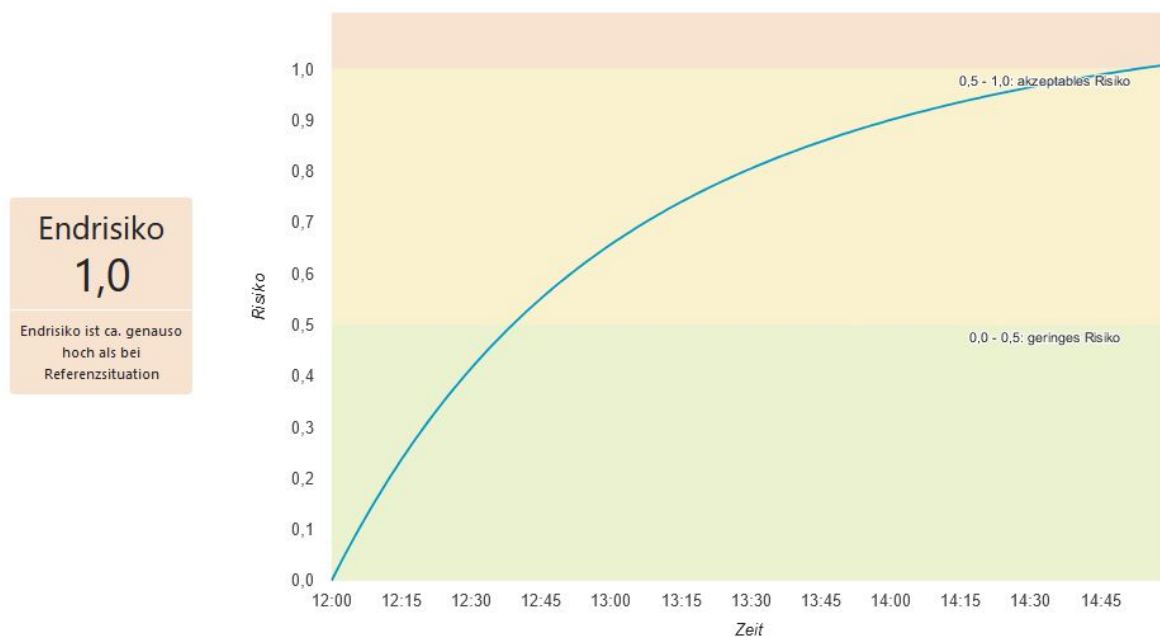
Besprechungsraum, 82 m³, Belegung 12 sitzende Erwachsene (8 Personen atmen, 4 Personen sprechen), Zuluftvolumen RLT-Anlage 492 m³/h (LW = 6 h⁻¹), keine Fensterlüftung, ohne Mund-Nasenschutz, Werte nach 6 Stunden Aufenthalt



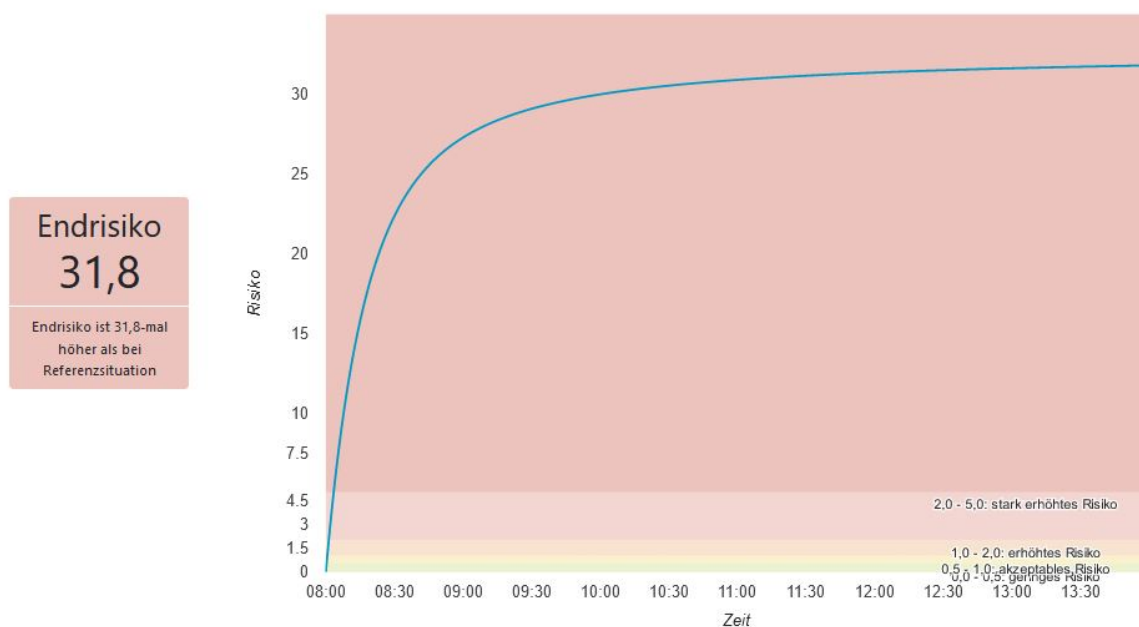
Thermen-Anlage, 9.600 m³, Belegung 430 Erwachsene (487 Personen ruhen und atmen, 43 Personen sitzen und sprechen), Zuluftvolumen RLT-Anlage 48.000 m³/h (LW = 5 h⁻¹), keine Fensterlüftung, ohne Mund-Nasenschutz, Werte nach 6 Stunden Aufenthalt



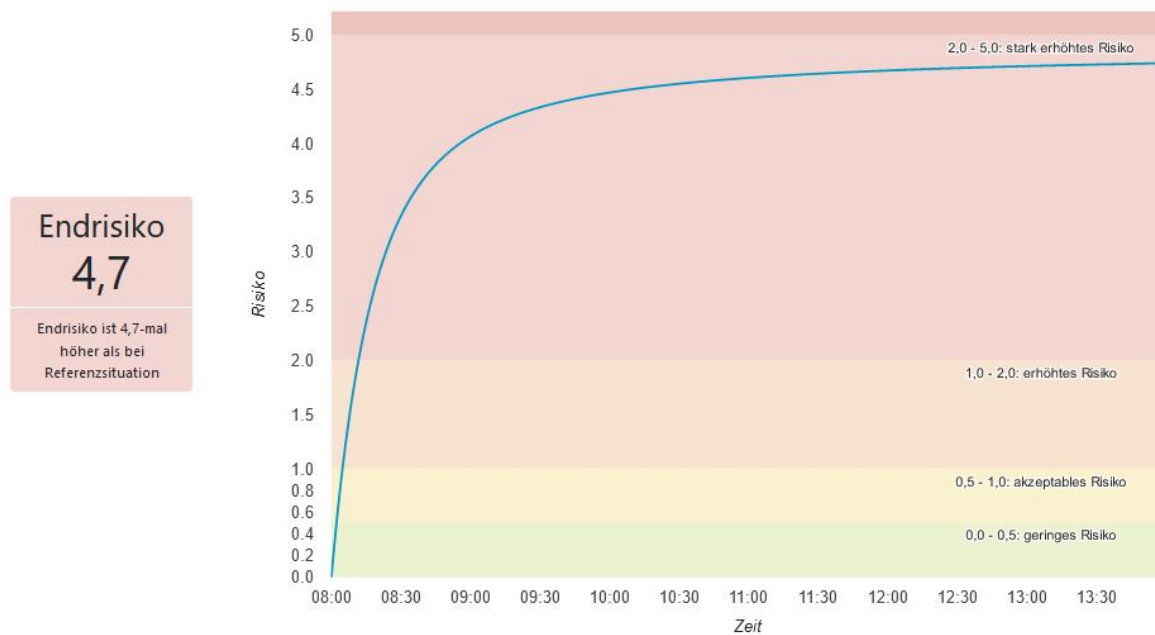
Kindertheater, 2.100 m³, Normalbelegung 104 Personen (50 Erwachsene und 50 Kinder 10 Jahre sitzen und atmen, **2 Schauspieler sprechen, 2 Schauspieler sprechen laut bzw. singen**), Zuluftvolumen RLT-Anlage 5.250 m³/h (LW = 2,5 h⁻¹), keine Fensterlüftung, **ohne Mund-Nasenschutz, Werte nach 2 Stunden Aufenthalt**



Messehalle, 188.000 m³, Belegung 6.500 Personen (5.200 Erwachsene sitzen und atmen, 1.300 Erwachsene stehen und sprechen), Zuluftvolumen RLT-Anlage 330.000 m³/h (LW = 1,75 h⁻¹), keine Fensterlüftung, ohne Mund-Nasenschutz, **Werte nach 3 Stunden Aufenthalt**



Fitnessstudio, 1.000 m³, Belegung 60 Personen (25 Erwachsene sitzen und atmen, 25 Erwachsene sprechen und strengen sich stark an, 10 Personen sprechen laut und strengen sich moderat an), Zuluftvolumen RLT-Anlage 6.000 m³/h (LW = 6 h⁻¹), keine Fensterlüftung, ohne Mund-Nasenschutz, Werte nach 6 Stunden Aufenthalt



Fitnessstudio, 1.000 m³, stark reduzierte Belegung 20 Personen (9 Erwachsene sitzen und atmen, 8 Erwachsene sprechen und strengen sich stark an, 3 Personen sprechen laut und strengen sich moderat an), Zuluftvolumen RLT-Anlage 6.000 m³/h (LW = 6 h⁻¹), keine Fensterlüftung, **mit Mund-Nasenschutz**, Werte nach 6 Stunden Aufenthalt

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abteilung VII/11, Stubenbastei 5, 1010 Wien

+43 1 711 00-612119

vii@bmk.gv.at

bmk.gv.at