

Beurteilung von Innenräumen in Hinblick auf die Exposition gegenüber virenbelasteten Partikeln (Aerosolen)

1 Allgemeines

Ein für Experten zugängliches Simulationsprogramm zur Risikoeinschätzung gegenüber SARS-CoV-2 erscheint auf Grund zahlreicher Anfragen im Zuge der Pandemie hilfreich zu sein, um Gebäudebetreibern, Veranstaltungsorganisationen, Arbeitgebern und nicht zuletzt öffentlichen Stellen zusätzlich zur Empfehlung, möglichst gut zu Lüften, eine Handreichung zur groben Orientierung zu bieten.

2 Grundsätzliche Zugangsweisen

Es sind verschiedene Zugangsweisen zur Ermittlung eines Risikos von Nutzern von Innenräumen, mit SARS-CoV-2 infiziert zu werden, denkbar: die Berechnung über ein absolutes Risiko oder ein relatives Risiko im Vergleich zu einer Referenzsituation. Beide Zugänge weisen Vor- und Nachteile auf.

Vergleichbar ist der Unterschied der Zugänge mit den Berechnungen eines Versicherungsmathematikers zur Berechnung der Unfallwahrscheinlichkeit (absolutes Risiko) im Gegensatz zu den Überlegungen eines Konstrukteurs von Sicherheitsgurten für ein neues Automodell (relatives Risiko). Auch wenn das statistische Risiko, bei einem Verkehrsunfall zu sterben, seit Jahrzehnten immer weiter absinkt, wird der Sicherheitsgurt im Auto, der im sehr unwahrscheinlichen Fall eines Unfalls aktiviert wird, deshalb nicht minderwertiger konstruiert oder gar eingespart werden. Der Sicherheitsgurt sollte immer gut funktionieren, auch wenn die Wahrscheinlichkeit eines Gebrauches äußerst gering ist.

2.1 Berechnung eines absoluten Risikos

Ein „konzentrationsabhängiges“, statistisches Risiko für die Aufnahme von anthropogen erzeugten, potenziell infektiösen Partikeln (Aerosolen), das an der jeweils konkret vorliegenden Durchseuchung der Bevölkerung ansetzt kann mit Hilfe von gebäudebezogenen Faktoren wie den Raummaßen und der Belüftungssituation, der Belegung, aktivitätsbezogener Faktoren wie das Atemvolumens sowie der Aktivität der Nutzer sowie anderer unsichererer virusbezogener Faktoren berechnet werden. Es gilt bei diesem Ansatz eine Zahl zu finden, die das absolute Risiko, auf Grund einer Infektion im Raum an COVID-19 zu erkranken, abbildet. Basis dazu sind Abschätzungen des Risikos auf Grund der bisher bekannten Fakten (bspw. Buonanno et al. 2020, Popa et al. 2020). Problematisch bei diesem Ansatz ist, dass viele der virusbezogenen Variablen wie bspw. die Aerosolabgabe einer infizierten Person, die Beladung der Aerosole mit Viren (Virenlast), die Lebensdauer der Viren sowie die Depositions- und

Abbauraten der Viren im Aerosol in weiten Bereichen streuen, in der Regel wenig untersucht oder gänzlich unbekannt sind.

Das so berechnete absolute Risiko korreliert weitgehend mit der CO₂-Konzentration, da das Risiko auf Grund der Tatsache, dass die infizierte Person ex ante nicht bekannt ist, entlang der Höhe der zeitunabhängigen CO₂-Konzentration im Raum ansteigt. Die Ergebnisse solcher stationären Berechnungen können bspw. zur Definition eines für die Praxis gut anwendbaren Cut-off-Wertes für CO₂ führen (derzeit sind etwa 1000 ppm absolut im Gespräch). Eine derartige Berechnung kann auch zur Einschätzung notwendiger Maßnahmen bspw. im Bereich der Haustechnik und für grundsätzliche epidemiologische Betrachtungen (welche Situationen sind gefährlich?) hilfreich sein. Was eine derartige Berechnung aus methodischen Gründen nicht aussagen kann, ist das konkrete Risiko einer Ansteckung, wenn sich trotz statistisch geringer Wahrscheinlichkeit eine oder mehrere infizierte Person(en) in einem konkreten Raum befinden.

2.2 Berechnung eines relativen Risikos

Um die Schwierigkeiten der Berechnung des „absoluten Risikos“ mit ihren Unsicherheiten zu umgehen, kann man das relative Risiko im Verhältnis zu einer Referenzsituation definieren. In diesem Fall kürzen sich die zahlreiche noch weitgehend unbekanntes Variablen weg, da in der Berechnung mit völlig identen Emissionsraten, Abnahmefaktoren und individuellen Schwellenwerten für eine Infektion gerechnet wird. Ein „mengen- bzw. dosisbezogener“ und zusätzlich auch „anlassbezogener“ Zugang, der das Risiko für die Aufnahme von anthropogen erzeugten, potenziell infektiösen Partikeln (Aerosolen) bei Anwesenheit von mindestens einer infizierten Person im Raum im Vergleich zu einer akzeptablen Referenzsituation darstellt, ist bspw. VIR-SIM. Dieses Risiko wird über die kumulierte Aufnahme der von der/den infizierten Person(en) abgegebenen Aerosole definiert, die zeitabhängig ist – für die Berechnung ist daher ein instationärer Ansatz hilfreich.

Basis für derartige Berechnungen sind Abschätzungen des Atemvolumens (bspw. Morawska et al. 2009) und der Atemaktivität. Bezieht man auch hier das Risiko auf eine bestimmte Referenzsituation, ergibt sich ein zeitabhängiger relativer Risikofaktor R , der bei zunehmendem Aufenthalt im betreffenden Raum ansteigt. Bei kleinen Räumen liegt dieser Risikofaktor deutlich über dem Risiko, das mit dem „absoluten Risiko“ berechnet würde, bei Räumen mit großem Volumen wie Hallen oder großen Theatersälen liegt er deutlich darunter. Eine derartige Berechnung kann für den Gebäudebetreiber oder Anwender im konkreten Fall hilfreich sein, um Gegenmaßnahmen zu ergreifen (zB. Anschaffung eines Luftreinigers, Definition von realistischen Fensterlüftungsintervallen, maximale Aufenthaltszeiten in einem Raum).

2.3 Die gebäuediagnostische Praxis

In der gebäuediagnostischen Praxis ist es erforderlich, konkrete Räume schnell und dennoch von der Aussage her belastbar in Hinblick auf ihr Risiko einzuschätzen. Nur in den wenigsten Fällen kann auf Details wie Art der Zuluftbringung, Luftströmungen im Raum (die sich mit unterschiedlicher Belegung signifikant ändern) oder Einbauten wie Möbel eingegangen werden, in der Regel sind auch derartige Berechnungen mittels numerischer Strömungsmechanik (englisch Computational Fluid Dynamics, CFD) zu aufwändig. Es ist in der Praxis auch auf Grund der vielen Unsicherheiten in Bezug

auf die individuelle Aerosolabgabe zu einem bestimmten Zeitpunkt, der Anzahl der Viren auf einem Partikel (Aerosol), der individuellen Aufnahmemenge von Viren usw. in konkreten Situation nicht immer hilfreich, statistisch abgeleitete absolute Risikoberechnungen durchzuführen.

Grundsätzlich muss in einem derartigen Programm daher mit starken Vereinfachungen gearbeitet werden, die Ergebnisse sind daher lediglich als grobe Abschätzung einer realen Situation zu betrachten. In der Realität spielen zusätzlich zu den Unsicherheiten bspw. der konkret gegebenen Lüftungssituation zahlreiche weitere Faktoren (zB. individuelle Aerosolabgabe zu einem bestimmten Zeitpunkt, Anzahl der Viren auf einem Aerosol, individuelle Aufnahmemenge von Viren, Verteilung der Aerosole in einem realen Raum usw.) eine bedeutende Rolle – Faktoren, die weitgehend unbekannt und/oder sehr variabel sind. Diese Faktoren können daher, will man das abgeschätzte Risiko in der gebäuediagnostischen Praxis beurteilen, nicht in die Betrachtung aufgenommen werden.

Weiter müssen auch grundsätzlich berechenbare Parameter wie die Verteilung von Aerosolen ausgehend von einer Person vereinfacht werden, daher muss man von einer sofortigen Verteilung abgegebener Aerosole ausgehen. Dennoch ist es erforderlich, von verschiedenen voreingestellten Emissionssituationen wie „Atmen“, „Sprechen“, „Singen“ (oder deren Kombination) auszugehen. Diese aus der Literatur entnommenen Faktoren (zB. Morawska et al. 2009) sowie die generelle Aktivität (Sitzen, Stehen, sportliche Aktivität) beeinflussen die Emissionssituation stark. Auch die An- oder Abwesenheit von Abtrennungen kann in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden.

Wichtig erscheint es in der Praxis, ein dynamisches, instationäres Modell mit der Möglichkeit der Simulation von Lüftungsphasen zu erzeugen, da man sich bei realistischen Raumnutzungssituationen kurzer Zeiträume in der ersten Zeit der Nutzung in der Anstiegskurve befindet, in der die potenzielle Aerosol/Virusaufnahme deutlich geringer ist als in der Ausgleichssituation.

3 Funktionsweise des Programms VIR-SIM

VIR-SIM ist ein anwenderorientiertes, vereinfachtes Programm für die Gebäudepraxis, zB. für Lüftungskonzepte. Es erfolgt ein Vergleich der gegenständlichen, angenommenen Situation(en) mit einer Referenzsituation in Bezug auf eine mögliche Virusaufnahme durch Aerosole bei Anwesenheit von infizierten Personen. Es handelt sich um eine instationäre Berechnung und möglicher Veränderungen der Randparameter über einen gewünschten Beurteilungszeitraum. Daten, die weitgehend unbekannt oder sehr variabel sind (Virusabgabe einer infizierten Person, Beladung von Partikeln mit Viren, Lebensdauer der Viren, Strömungssituation im Raum usw.), gehen nicht in die Berechnung des relativen Risikos R ein, da die zu prüfende Situation lediglich mit einer Referenzsituation mit den gleichen Vorgaben verglichen wird.

Bei der Modellrechnung wird vorausgesetzt, dass eine – ex ante nicht identifizierte – Person infektiös ist und die übrigen Personen für eine Infektion empfänglich sind. Dies entspricht dem Muster von "Superspreading"-Ereignissen. Es wird weiters angenommen, dass die kumulierte Aufnahme (Dosis) von virusbeladenen, infektiösen Aerosolen für eine Infektion als entscheidend angenommen wird und daher das Risiko mit zunehmender Dosis von infektiösen Aerosolen abhängig von der Aufenthaltszeit in einem Raum ansteigt. Der in der Abschätzung berechnete, zeitabhängige Faktor R (relatives Risiko) beschreibt, in welchem Verhältnis die Aufnahme infektiöser Aerosole (Dosis) nach einer bestimmten Aufenthaltszeit (Beurteilungszeitraum) in einem interessierenden Raum zu der Aerosolaufnahme einer

Person in einem gut gelüfteten Innenraum (bezeichnet als „Referenzsituation“, z.B. Vortragsraum/Schulraum) nach 8 Stunden Aufenthalt (Referenzzeitraum) steht.

Ziel ist eine Darstellung des relativen Risikos bei vorgegebenen Randbedingungen im Raum. Berücksichtigt werden folgende Parameter:

- Luftwechsel bzw. Zuluftvolumenstrom
- Raumvolumen
- Lüftungsphasen
- Aktivität der Nutzer (Sitzen, Stehen, körperliches Training)
- Arten der Atemaktivität (nur Atmen, Sprechen, Singen) oder eine Kombination davon

Die unterschiedliche potentielle Aerosolabgabe bei verschiedenen Aktivitäten der Nutzer und Arten der Atemaktivität wurde durch Faktoren berücksichtigt, die aus der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur (zB. Morawska et al. 2009; Buonanno et al. 2020) entnommen wurden.

Stationäre oder mobile Luftreinigungsgeräte können, obschon sie eine gute und notwendige Lüftung mit Außenluft nicht ersetzen, signifikant dazu beitragen, die Virenkonzentration in einem Raum zu senken (Curtius et al. 2020). Es ist im Programm VIR-SIM auch möglich, einen außenluftäquivalenten Luftwechsel durch geeignete virenabscheidende oder Viren zerstörende Luftreiniger zu simulieren.

3.1 Die „Referenzsituation“

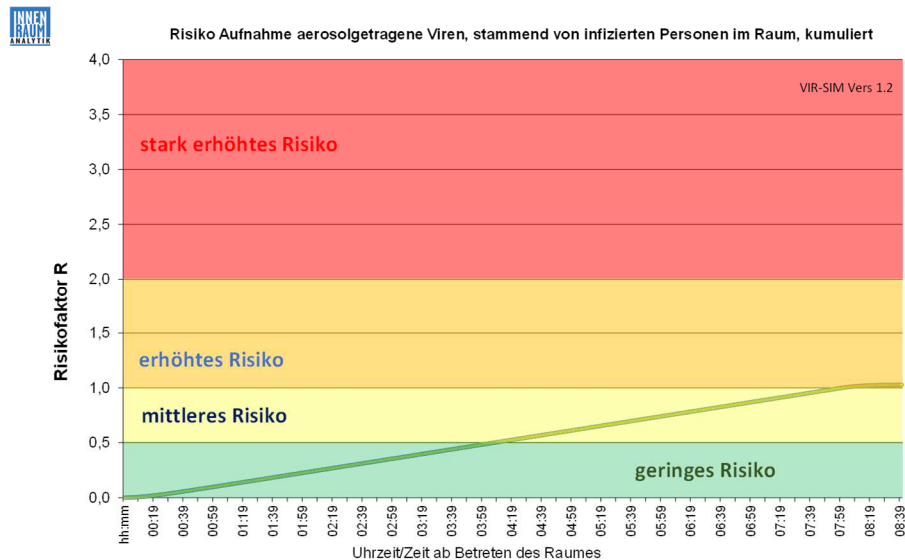
Die Referenzsituation beschreibt einen Innenraum mit einer Belegung von 25 Personen, wobei eine Person als infektiös angenommen wird. Weiters wird von 200 m³ Raumvolumen (66,7 m² Grundfläche, 3 m Raumhöhe) und einem Zuluftvolumenstrom von 35 m³/h je Person (Luftwechsel 4,4 h⁻¹) und einer Aufenthaltsdauer 8 Stunden ausgegangen. Ein Luftwechsel, wie er bei der Referenzsituation angenommen wird, spiegelt eine Situation wider, in welcher das derzeit technisch Machbare in Bezug auf Lüftungstechnik (Stand der Technik) umgesetzt wird. Weitere Vorgaben für die Referenzsituation sind „sitzende Personen“, die zu etwa 50% sprechen, zu etwa 50% still sitzen (nur atmen).

Die Virenaufnahme auf Grund eines 8-stündigen Aufenthalts in einem solchen gut gelüfteten, mittelgroßen Raum wird als die obere Grenze eines „mittleren“ Risikos definiert. Das relative Risiko in einem derartigen Referenzraum hat demnach laut Definition den Zahlenwert 1.

Bei dem für die Referenzsituation gewählten Zuluftvolumenstrom von 35 m³/h je Person stellt sich im Raum eine CO₂-Gleichgewichts-Konzentration von etwa 1000 ppm ein, wenn Arbeiten mit geringer körperlicher Belastung durchgeführt werden (z.B. sitzende Tätigkeit). Eine solche Expositionssituation wird in Bezug auf die Raumluftqualität und zur Beurteilung des Lüftungsverhaltens als „akzeptabel“ bezeichnet und entspricht sowohl den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung an Arbeitsplätze¹ bei mechanisch belüfteten Räumen, den Vorgaben der Klasse 2 der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft als auch den Vorgaben des österreichischen Leitfadens für den Kulturbetrieb in Pandemiezeiten des Zentrums für Public Health der Medizinischen Universität Wien.

¹ Arbeitsstättenverordnung ASstV, BGBl. II Nr. 368/1998

Im Folgenden werden die zeitabhängigen Ergebnisse für eine Referenzsituation dargestellt. Das relative Risiko R nach 8 Stunden Beurteilungszeitraum liegt definitionsgemäß bei 1.



3.2 Eingabemaske für die Berechnung

Bitte in turkis unterlegte Felder eingeben! Orange Felder sind berechnete Werte. Die Werte können in "Detaillierte Eingabe" in Minutenintervallen verändert werden

Raum- und Lüftungsparameter	Einheit	Wert
Fläche des Raumes	m ²	66,7
Höhe des Raumes	m	3
Geschätzte Einbauten (Möbel etc.)	m ³	0
Berechnetes Raumvolumen	m ³	200
Außenluftäquiv. Luftzufuhr zB. Luftreiniger	m ³ /h	0
Außenluftäquiv. Grundluftwechsel [h⁻¹]	Grundluftwechsel	Standardsituation
		4,38
Belegung, Aktivität		
Betrachtungseinheit Anfang	hh:min	00:00
Raumbelegung mit Personen	-	25
Körperliche Aktivität Personen im Raum	Aktivität (Beginn)	Sitzend
		1,2
Angenommene Anzahl Virenemittenten	Anzahl (≥1)	1,0
Art der Atemaktivität Virenemittent(en)	Aktivität (Beginn)	50% Sprechen
		2,8
Körperliche Aktivität Virenemittent(en)	Aktivität (Beginn)	Sitzend
		1,2
Abtrennung vorhanden?	1	Abtrennung Nein
Fensterlüftungsepisoden/ Individuelle Eingaben	→	"Detaillierte Eingabe"
Personenbez. Außenluftvol. Grundlüftung	m ³ ·P ⁻¹ ·h ⁻¹	35,0

4 Ergebnisse der Simulation

Ergibt die Simulationsrechnung für einen Raum bei den vorgegebenen Randparameter nach einer gewissen Zeitspanne (Beurteilungszeitraum) ein relatives Risiko von $R = 1$, ist für die potenzielle, kumulierte Virusaufnahme (Dosis = akkumulierte Gesamtmenge an über die Atmung aufgenommenen Virus) die gleiche Größenordnung anzunehmen wie bei einer Person in der Referenzsituation nach 8 Stunden Aufenthalt. Bei Werten von $R \leq 0,5$ ist ein wesentlich geringeres Risiko, bei Werten von $R \geq 2$ ist ein wesentlich erhöhtes Risiko für eine Infektion der Nutzer des Raumes über potenziell virusbelastete Aerosole gegenüber der Referenzsituation zu erwarten. Dies unter der Voraussetzung der Anwesenheit von infizierten Personen im Raum. Errechnet sich nach der Eingabe in der entstehenden Kurve bspw. nach 2 Stunden Aufenthalt der Risikofaktor R von 0,7, dann bedeutet dies, dass ein Nutzer eines Raumes zu diesem Zeitpunkt theoretisch 70% der Menge an (potenziell infektiösen) Aerosolen aufgenommen hat wie ein Nutzer unter Referenzbedingungen und 8 Stunden Aufenthalt. Bei Räumen mit mehr als 100 Nutzern werden mehrere infizierte Personen (1 pro 100 Nutzer) für die Simulationsrechnung angenommen.

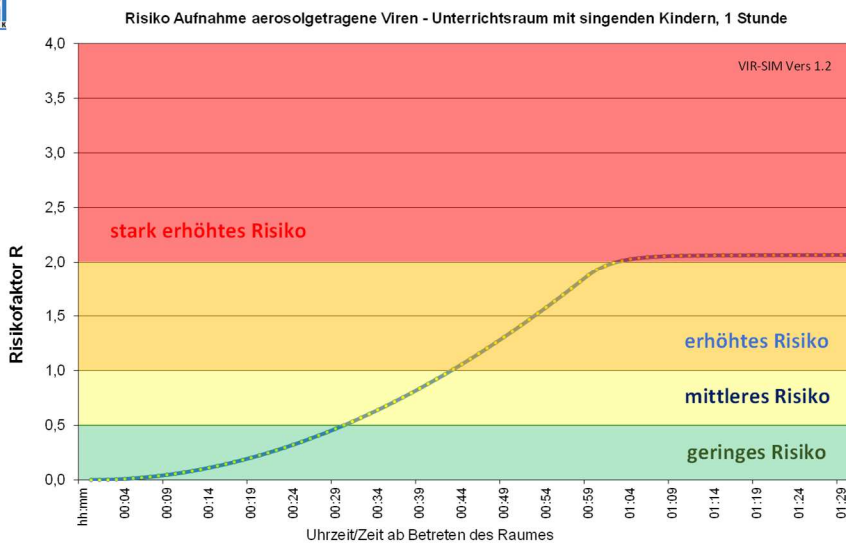
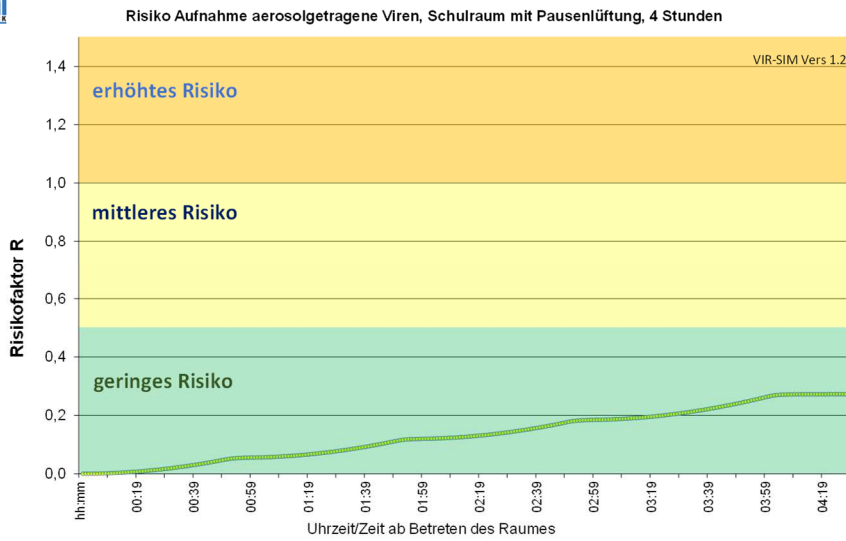
4.1 Methodische Einschränkungen des Programms VIR-SIM

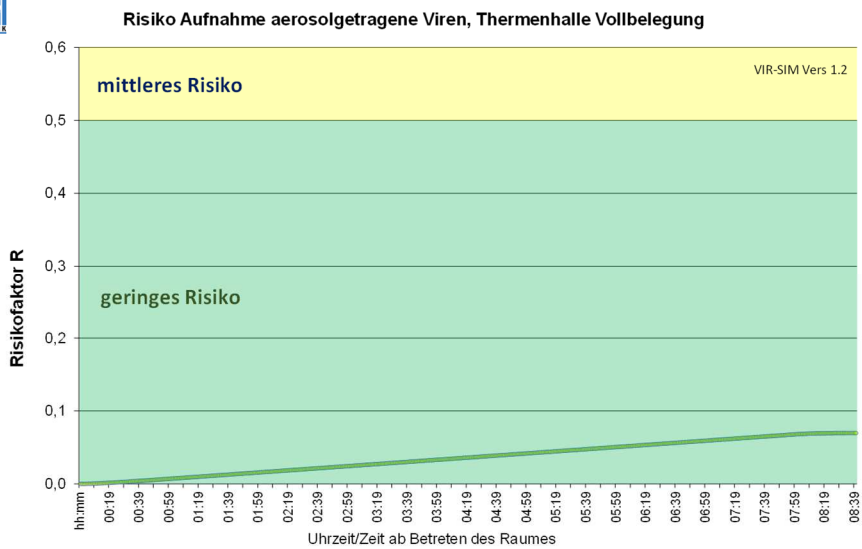
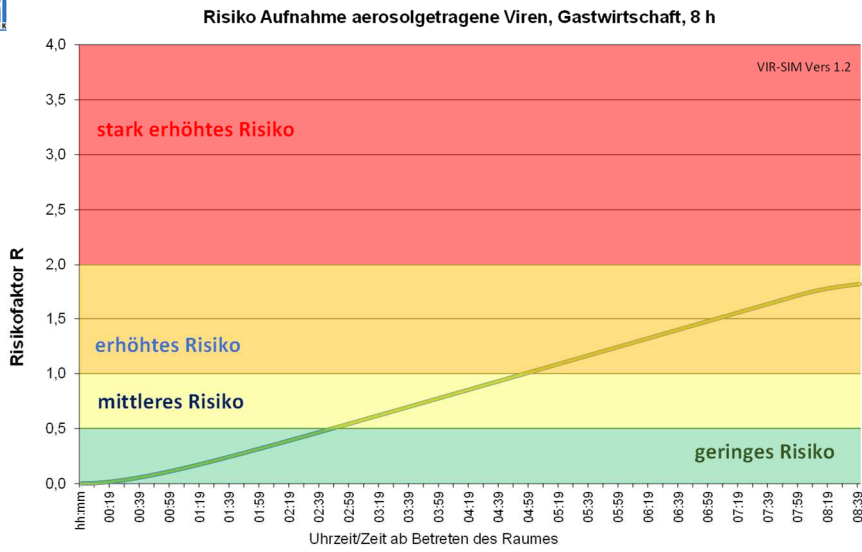
Bei der Berechnung des relativen Risikos mit dem Programm VIR-SIM 1.2 wird eine stark vereinfachte Situation zu Grunde gelegt. Lokale Effekte im direkten Nahbereich eines Virenemittenten werden bei der Simulation nicht berücksichtigt. Es werden bei der Berechnung Daten, die in der Regel nicht vollständig bekannt sind oder Faktoren, die sich mit der Zeit ändern können, abgeschätzt, was den Ergebnissen eine nicht zu vermeidende Unschärfe verleiht. Es wird auch angenommen, dass das Konzentrationsfeld im Raum „homogen“ ist – die Konzentration also überall im Raum gleich groß ist, da die Luft im Raum homogen durchmischt angenommen wird. Räume mit ausgeprägten Luftströmungen im Raum müssen mit anderen Methoden detaillierter beurteilt werden.

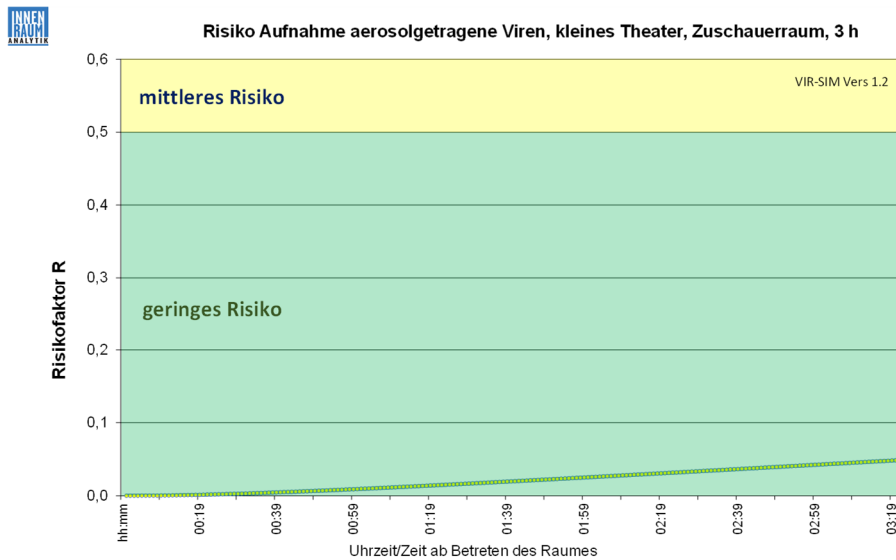
Die Abschätzung ist zusammenfassend als ein Hilfsmittel zur situativ-integrativen Beurteilung des Infektionsrisikos über Aerosole in einem Innenraum zu bewerten. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass zusätzlich zu den Unsicherheiten individuelle Faktoren (z.B. Intensität der im individuellen, realen Fall gegebenen Virenabgabe, tatsächliche Verteilung der Aerosole ausgehend von einer infizierten Person in einem realen Raum, usw.) eine bedeutende Rolle spielen. Es wird darauf hingewiesen, dass es auch bei niedrigen Werten des Faktors R nicht möglich ist, einen 100-prozentigen Schutz vor Infektionen mit SARS-CoV-2 in Innenräumen zu erreichen.

4.2 Beispiele

Im Folgenden werden einige Beispiele für die Anwendung des Programmes dargestellt. Es ist zu beachten, dass der Beurteilungszeitraum (x-Achse) und das Risiko (y-Achse) unterschiedlich sein können.







5 Kontakt

Bei Fragen zum Programm VIR-SIM 1.2 wenden Sie sich bitte an:

DI Peter Tappler

Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz,
Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger
IBO Innenraumanalytik OG

Stutterheimstraße 16-18/2

A-1150 Wien

Tel.: ++43 - 1 - 9838080

Mobil: ++43 - 664 - 300 8093

Fax: ++43 - 1 - 9838080 - 15

email: p.tappler@innenraumanalytik.at

6 Literatur (Auszug)

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

Buonanno et al. (2020): Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. Environment International Volume 145. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>

CO2-SIM 4.2. Simulationsprogramm zur Berechnung der zu erwartenden CO₂-Konzentrationen in Innenräumen. <http://www.raumluft.org>

Curtius J. et al. (2020): Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.10.02.20205633>

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>

Müller D, Rewitz K, Derwein D, Burgholz Tobias Maria (2020): Vereinfachte Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen. Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC), RWTH Aachen und Heinz TroxWissenschafts GmbH

Morawska L. et al. (2009): Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. Journal of Aerosol Science Volume 40, Issue 3, March 2009, 256-269.

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

Nikitin N, Petrova E, Trifonova E, and Karpova O (2014): Influenza virus aerosols in the air and their infectiousness. Adv Virol. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/859090>

Popa A. et al (2020): Mutational dynamics and transmission properties of SARS-CoV-2 superspreading events in Austria, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.07.15.204339v1>

Zentrum für Public Health der Medizinischen Universität Wien, Abteilung für Umwelthygiene und Umweltmedizin (2020): Kultur in Zeiten der COVID19-Epidemie in Österreich: Leitfaden für den Kulturbetrieb (13.05.2020)