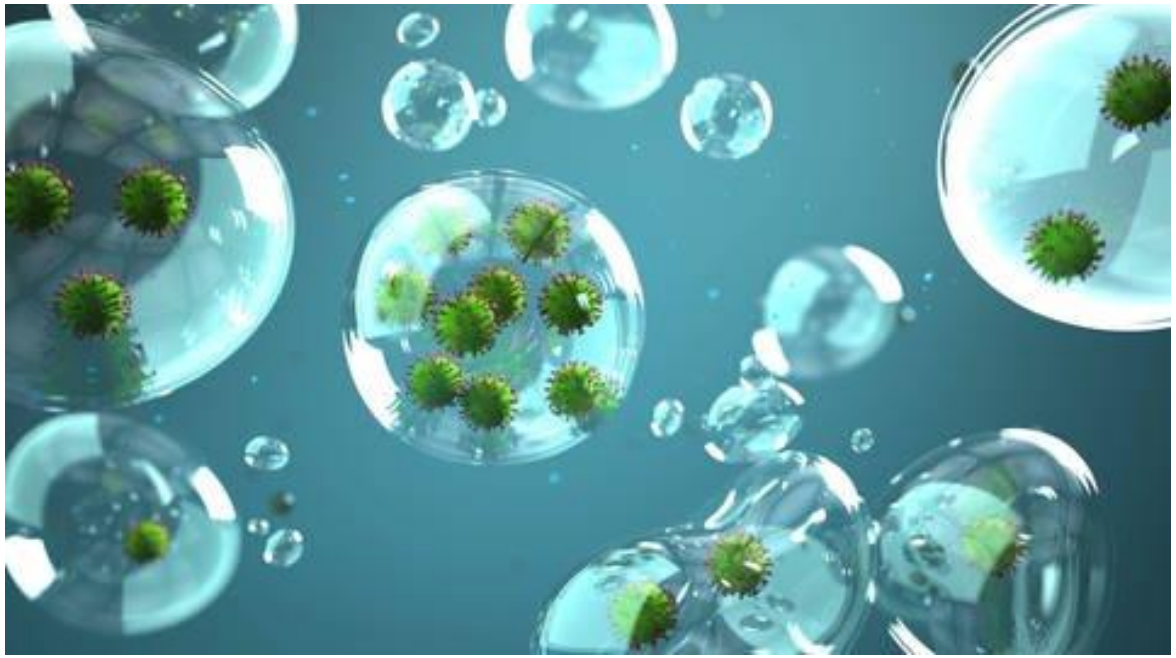
Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

CO_2 als Indikator für das Infektionsrisiko in Innenräumen in Pandemiezeiten

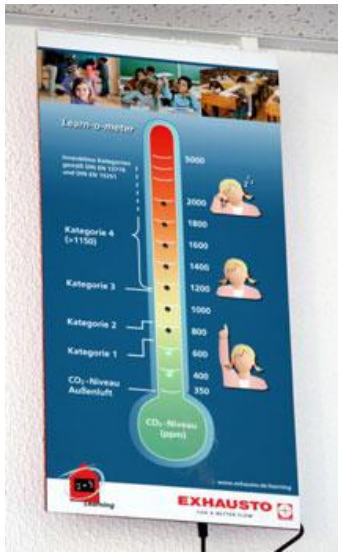
Peter Tappler
Arbeitskreis Innenraumluft im österreichischen Klimaschutzministerium - Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger – IBO Innenraumanalytik OG



CO_2-Messung und Risikobewertung

http://www.lueftungsampel.at

http://banggood.com



Infektionsvorsorge über CO_2?

Title: Exhaled CO_2 as COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities

Authors: Z. Peng[1], J. L. Jimenez[1]*.

Affiliations:

[1]Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences and Department of Chemistry, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309, USA.

*Correspondence to: jose.jimenez@colorado.edu.

Abstract: CO_2 is co-exhaled with aerosols containing SARS-CoV-2 by COVID-19 infected people and can be used as a proxy of SARS-CoV-2 concentrations indoors. Indoor CO_2 measurements by low-cost sensors hold promise for mass monitoring of indoor aerosol transmission risk for COVID-19 and other respiratory diseases. We derive analytical expressions of CO_2-based risk proxies and apply them to various typical indoor environments. Contrary to some earlier recommendations setting a single indoor CO_2 threshold, we show that the CO_2 level corresponding to a given infection risk varies by over 2 orders of magnitude for different environments and activities. Although large uncertainties, mainly from virus exhalation rates, are still associated with our infection risk estimates, our study provides more specific and practical recommendations for low-cost CO_2-based indoor infection risk monitoring.

One Sentence Summary: Guidelines for indoor CO_2 concentrations to reduce indoor COVID-19 infection risk need to account for environment and activity types.

Peng Z, Jimenez JL (2020): medRxiv preprint https://doi.org/10.1101/2020.09.09.20191676

Fragestellung

Ist der Parameter Kohlenstoffdioxid (CO_2) als genereller Indikator für das aerosolgebundene Infektionsrisiko in Bezug auf COVID-19 geeignet?

Wenn nein, gibt es Lebensbereiche, in denen eine Anwendung Sinn macht?

Gibt es Situationen, in denen eine Verwendung von CO_2 zu groben Fehleinschätzungen führt?

Infektionswege SARS-CoV-2

Tröpfcheninfektion: im Nahbereich (bis 2 m) große Tropfen über Nießen, Husten usw.

Schmierinfektion: über Oberflächen, Hände, Schleimhäute

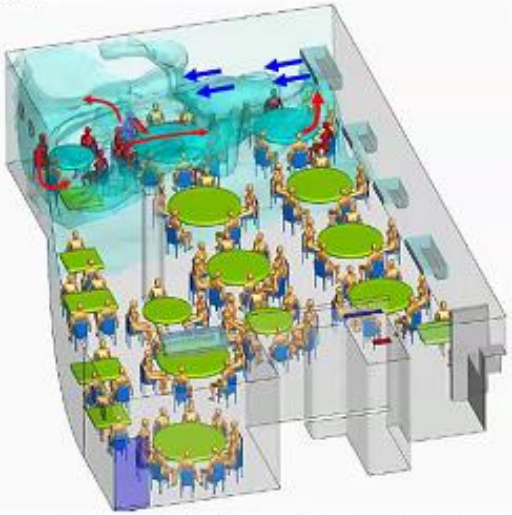
Aerosolpartikel: über die Atemluft (< 5µm)

Aerosole?

CORONA BEI TÖNNIES

Aerosole verbreiteten Viren am Fließband

In Tönnies' Fleischfabrik soll ein Superspreader Kollegen über acht Meter Entfernung angesteckt haben. Zentrum des Ausbruchs: der Zerlegebereich Rinder, wie eine Rekonstruktion zeigt.



WHO LENKT EIN

Unterschätzte Gefahr durch Corona-Aerosole

239 Forschende forderten von der WHO eine Aktualisierung der Corona-Leitlinien, da die Übertragung über feinste Schwebestoffe in der Luft nicht ausreichend berücksichtigt sei. Jetzt sieht auch die WHO die Gefahr.

CORONA-SUPERSPREADER BEI TÖNNIES

Vorsicht Luftumwälzung: Corona-Aerosole fliegen acht Meter weit

STUTTGART - 24.07.2020, 15:20 UHR

Bericht aus China

Lüftungsanlagen könnten Corona verbreiten

Ein Corona-Patient hat in einem Restaurant in China zwei Familien mit dem Virus angesteckt - vermutlich über die Klimaanlage. Was das für Abstandsregeln in Restaurants bedeutet.

22.04.2020, 18.00 Uhr

[2] Li, Yuguo; Qian, Hua; Hang, Jian; Chen, Xuguang; Hong, Ling; Liang, Peng et al. (2020): Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. DOI: 10.1101/2020.04.16.20067728

Vieles ist noch unklar, einiges ist bekannt

Dass Aerosole eine Rolle spielen, kann als gesichert gelten, da sich Superspreading-Ereignisse anders nicht schlüssig erklären lassen

Abstandsregeln sind bei Aerosolen nicht relevant, Visiere sind unwirksam

„Virenfite“ Räume durch……

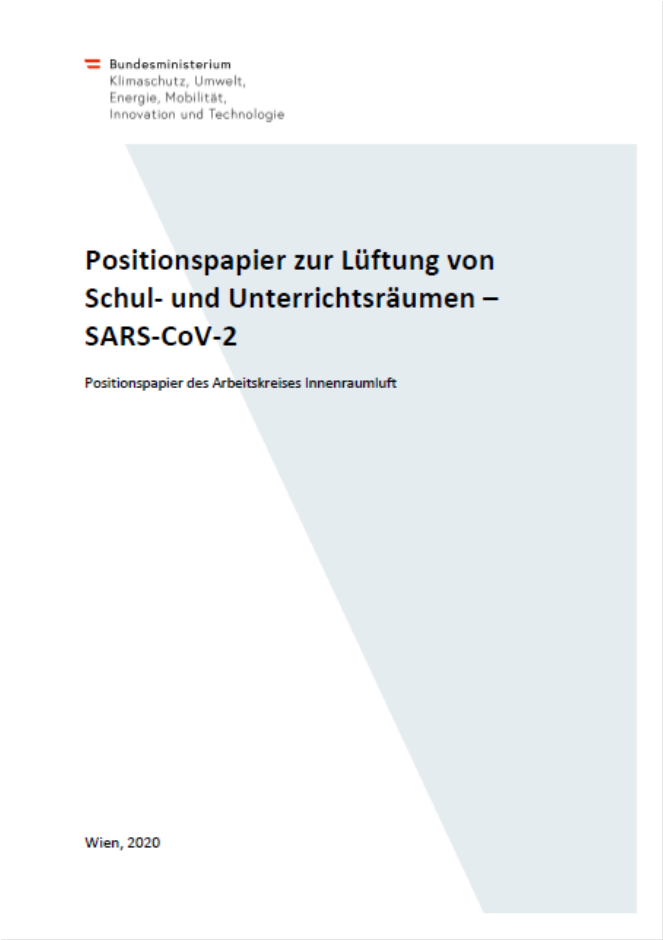
Abstand, Hygiene

Atem(Mund-Nasen)schutz

Lüftung optimieren, Luftreiniger

Positionspapier Corona & Schulen

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


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

Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2

Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft

Wien, 2020

Kurze Festlegung zum Umgang mit Corona und Lüftung in Schulen

Bezug nehmend auf die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft - CO_2 (2017)

Bezug online: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum/arbeitskreis.html

Erfassung des Risikos

Viren werden von Menschen emittiert, ähnlich dem CO_2

Absolutes und relatives Risiko zur Einschätzung

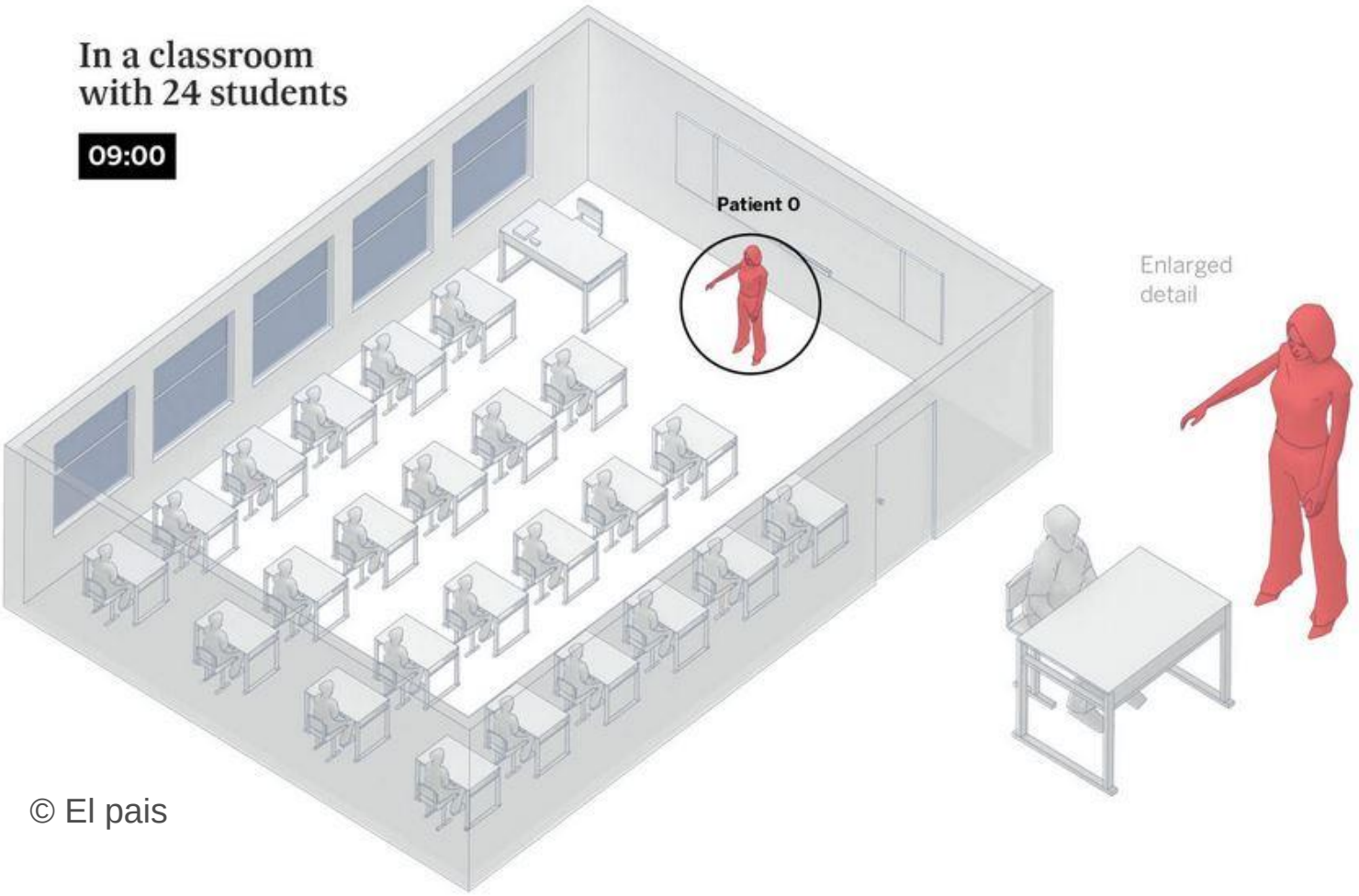
Absolutes Risiko im Vergleich zu anderen Risiken wie bspw. Radon, Asbest, Formaldehyd, Schimmel…….

Relatives Risiko im Vergleich zu Referenzsituation, bei der tolerables Risiko einer Infektion angenommen wird

Ziel ist die Verringerung von Ängsten und Falschinformationen

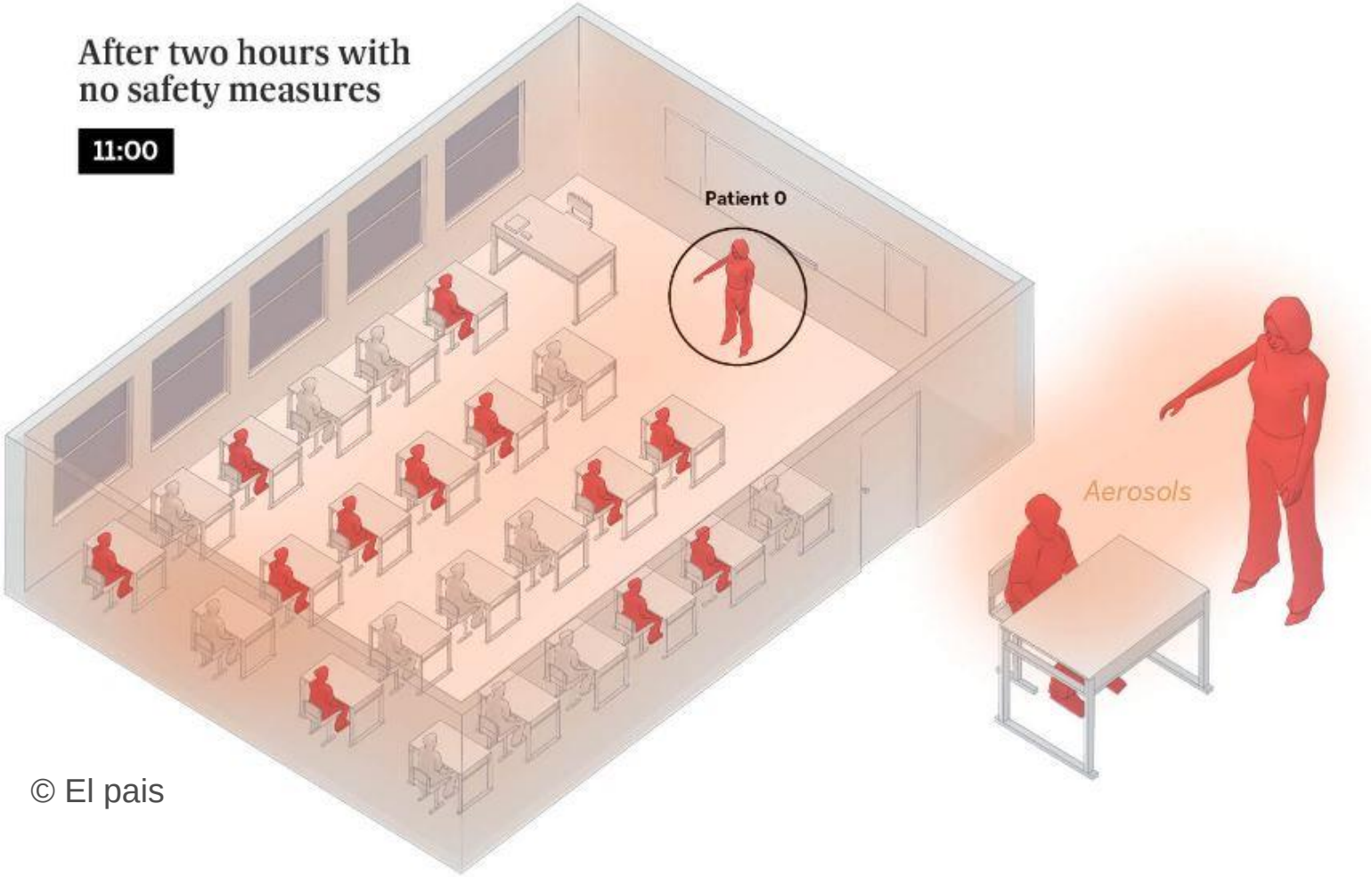
Unterscheidung von sinnvollen und sinnlosen Maßnahmen

Infektionswege in Schulen



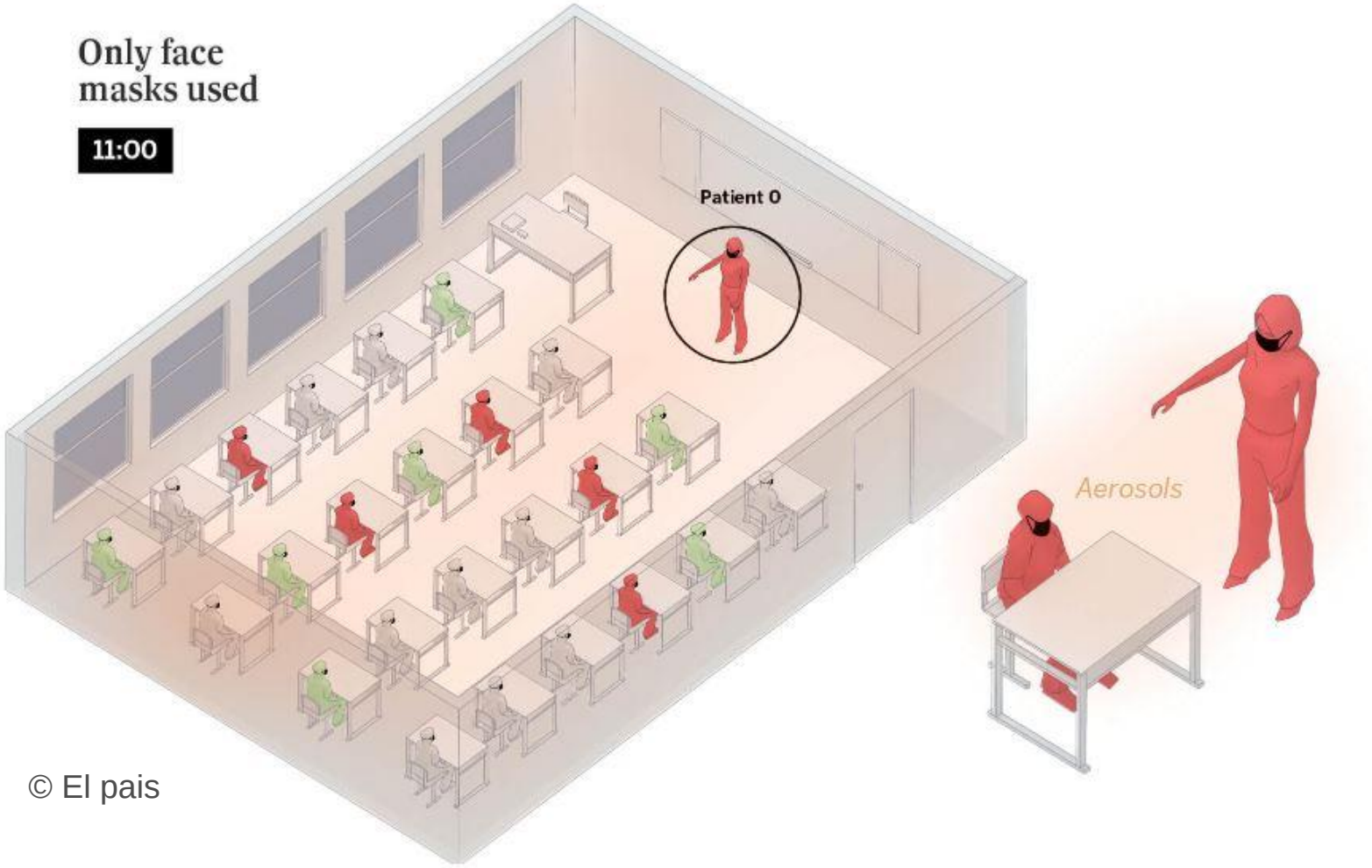
© El pais

Infektionswege in Schulen



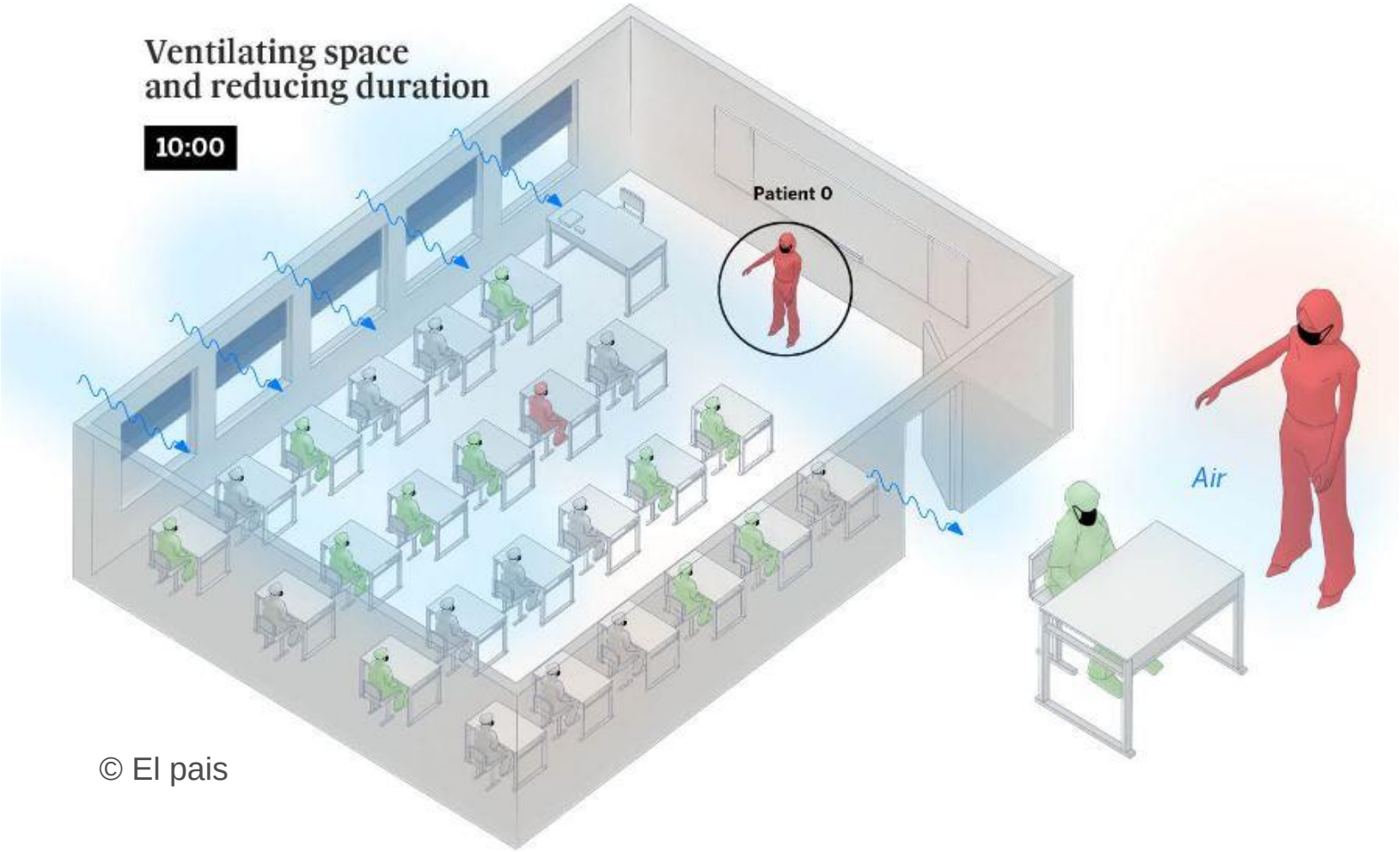
© El pais

Infektionswege in Schulen



© El pais

Infektionswege in Schulen



© El pais

Vorgaben zu Schullüftung

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

Bezug online: www.umweltbundesamt.de

Beurteilung von Räumen

VIR-SIM 2.1

Beurteilung von Innenräumen in Hinblick auf die Exposition gegenüber virenbelasteten Aerosolpartikeln

Auf unten stehender Grafik sehen Sie das zeitabhängige relative Risiko R, sich in einem Raum mit COVID-19 über Aerosole anzustecken, dies im Verhältnis zu einem Referenzraum, dessen Risiko als "mittel" angesehen wird und definitionsgemäß das Endrisiko R = 1 hat (35 m³ Zuluft pro Person und Stunde, 200 m² Raumgröße, ein stehender Sprecher, 24 Personen, die sitzen und nur atmen). Dies entspricht einem gut gelüfteten Vortrags- oder Unterrichtsraum. Durch Klicken auf die Kurve erhalten Sie das relative Risiko nach einer bestimmten Aufenthaltszeit.

In der Beschreibung des Simulationsprogramms erhalten Sie detaillierte Infos zum Hintergrund der Simulation und zur Interpretation der Ergebnisse.

Gefördert durch

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

Unterstützt durch

KLA · Hoval · LÜFTUNGSAMPEL · Cleanroom Technology Austria · drexel und weiss

RAUM & LÜFTUNGSPARAMETER

Fläche des Raumes	66,7	m²	Zustand der Fenster	Eher dichte Fenster (LW = 0,
Höhe des Raumes	3	m	Fensterlüftung	Dauerhaft geschlossen
Raumvolumen	200	m³		
Mechanische Raumlüftung	0	m³/h		
Raumluftreiniger	0	m³/h		

SONSTIGES

Mund-Nasenschutz	Nein	Betrachtungseinheit Anfang	08:00	
		Betrachtungseinheit Dauer	6	Stunden

NUTZER DES RAUMES

Anzahl Erwachsene	25				
Atmen		Sprechen		Laut Sprechen, Singen	
Anzahl	24	Anzahl	1	Anzahl	0

https://www.corona-rechner.at

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

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

Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft

Wien, 2021

https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/luft/innenraum/arbeitskreis.html

AEROSOLE

www.gefahrstoffe.de

Modellbasierte Berechnung des aerosolgebundenen Infektionsrisikos in Klassenräumen, Großraumbüros, Hörsälen und Sporthallen bei unterschiedlichen Nutzungssituationen

D. Müller, A. Trukenmüller, Ch. Scherer, P. Tappler, H.-J. Moriske, T. Salthammer, M. Schweiker

ZUSAMMENFASSUNG In diesem Beitrag werden Ergebnisse eines Berechnungsverfahrens zur Bewertung eines relativen Infektionsrisikos vorgestellt, mit dem eine (beliebige) Raumsituation mit einer Referenzsituation verglichen werden kann. Die Referenzsituation beschreibt einen Klassenraum mit maschineller Belüftung, ausgelegt nach dem heutigen Stand der Technik. Dabei wird vorausgesetzt, dass keine absolute Sicherheit vorliegt, jedoch eine nur sehr geringe Infektionswahrscheinlichkeit angenommen wird. Durch die Wahl der Raum- und Lüftungsparameter wird sichergestellt, dass sich in der Re

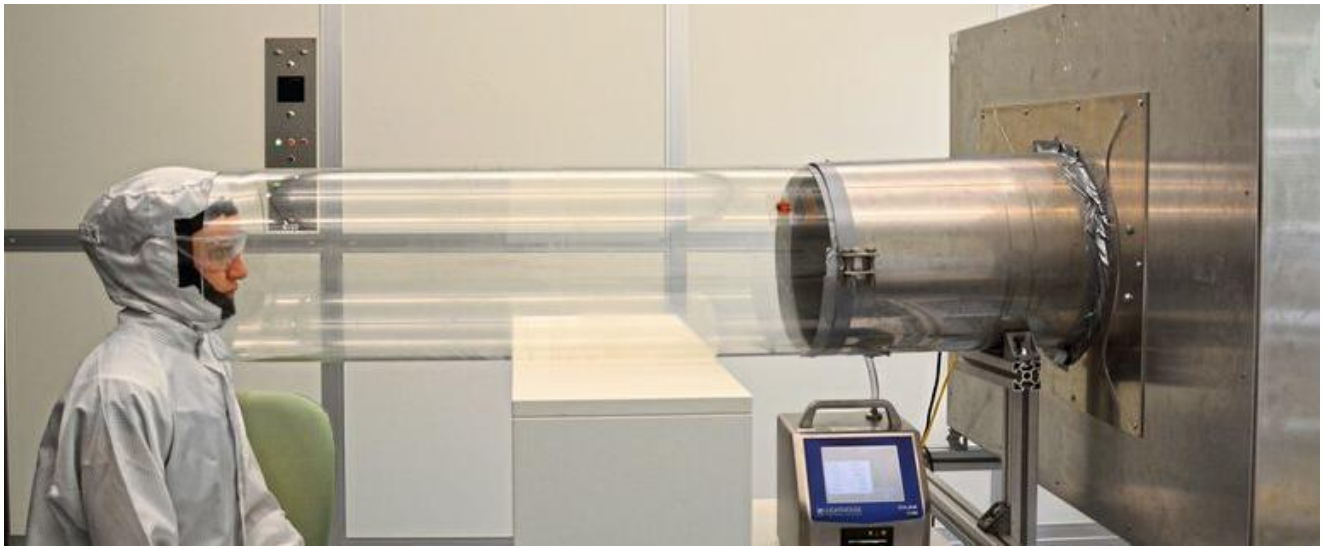
Model-based calculation of the aerosol-related risk of infection in classrooms, open-plan offices, lecture halls and sports halls for different usage situations

ABSTRACT In this article, results are presented by means of a calculation method for assessing the relative risk of infection, with which an (arbitrary) actual environmental situation can be compared with a reference situation. The reference situation describes a classroom with mechanical ventilation

Bezug online: https://www.wki.fraunhofer.de/content/dam/wki/de/documents/Mediathek/fachpublikationen/Gefahrstoffe_03-04_2021_117-126_SARS-CoV-2-Infektionsrisiko.pdf

Aerosole und SARS-CoV-2

Wieviele Aerosole von Infizierten abgegeben werden, kann gemessen, aber in der Praxis nur grob abgeschätzt werden.



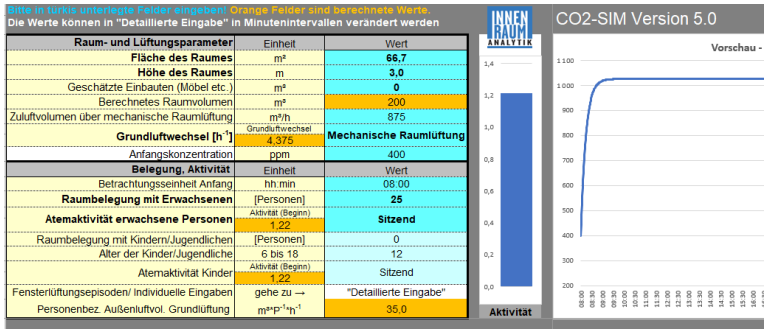
Hartmann et al. (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, Preprint, http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332

Simulationsprogramme

CO2-SIM

Simulationsprogramm zur instationären Berechnung der CO_2-Konzentrationen in Innenräumen

http://www.raumluft.org

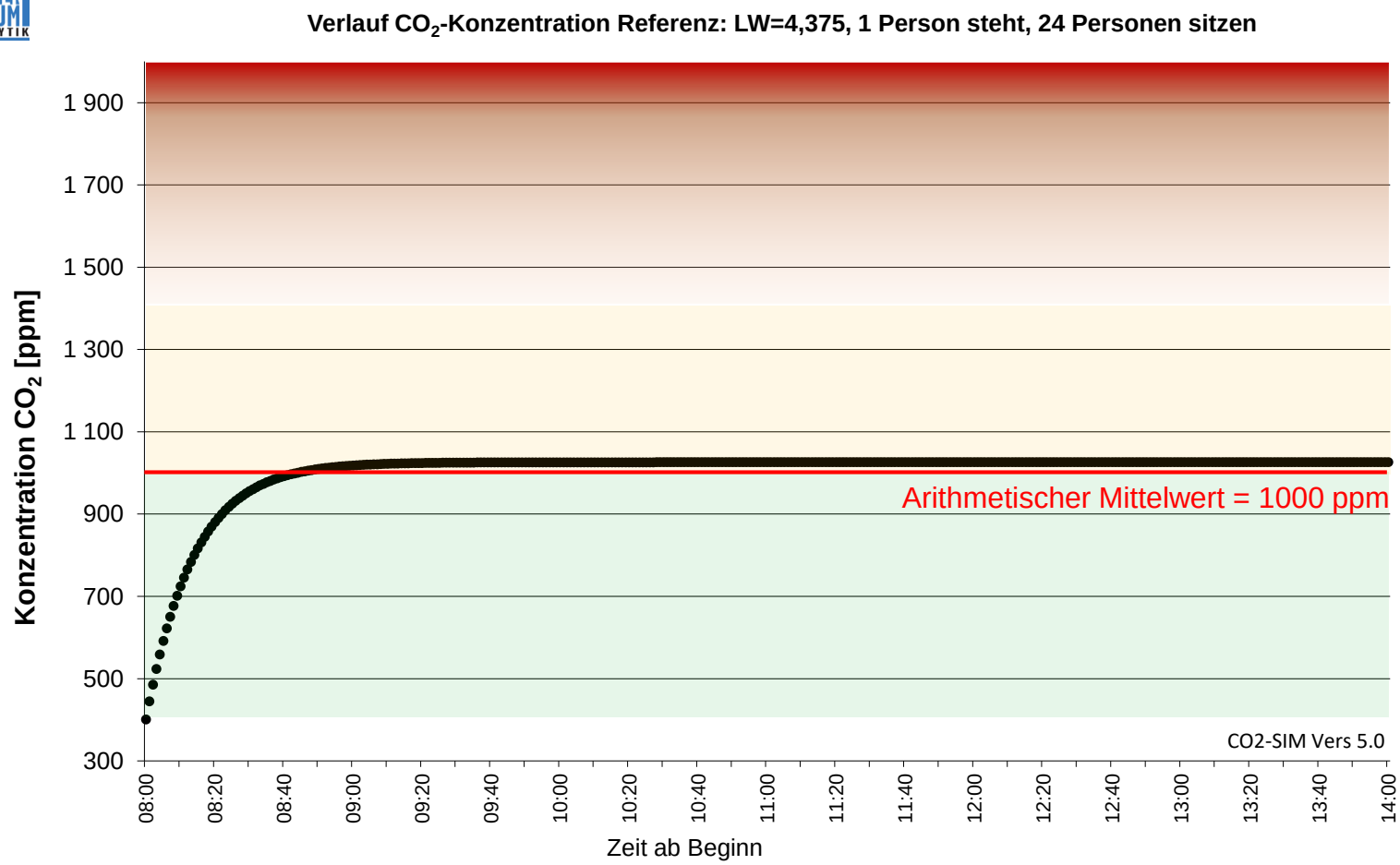


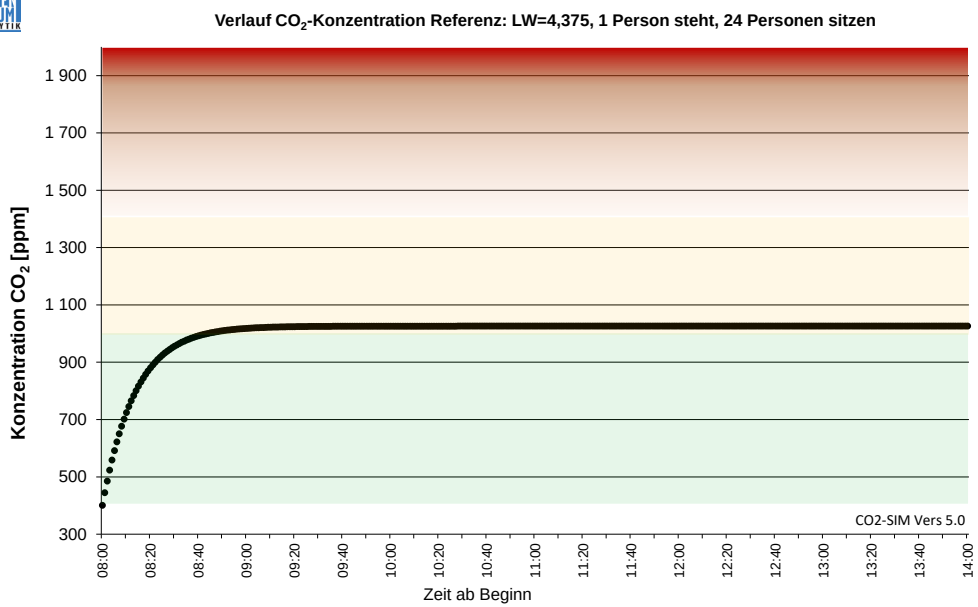
Raum- und Lüftungsparameter	Einheit	Wert
Fläche des Raumes	m²	66,7
Höhe des Raumes	m	3,0
Geschätzte Einbauten (Möbel etc.)	m³	0
Berechnetes Raumvolumen	m³	200
Zuluftvolumen über mechanische Raumlüftung	m³/h	875
Grundluftwechsel [h⁻¹]	Grundluftwechsel 4,375	Mechanische Raumlüftung
Anfangskonzentration	ppm	400
Belegung, Aktivität	**Einheit**	**Wert**
Betrachtungsseinheit Anfang	hh:min	08:00
Raumbelegung mit Erwachsenen	[Personen]	25
Atemaktivität erwachsene Personen	Aktivität (Beginn) 1,22	Sitzend
Raumbelegung mit Kindern/Jugendlichen	[Personen]	0
Alter der Kinder/Jugendliche	6 bis 18	12
Atemaktivität Kinder	Aktivität (Beginn) 1,22	Sitzend
Fensterlüftungsepisoden/ Individuelle Eingaben	gehe zu →	"Detaillierte Eingabe"
Personenbez. Außenluftvol. Grundlüftung	m³*P⁻¹*h⁻¹	35,0

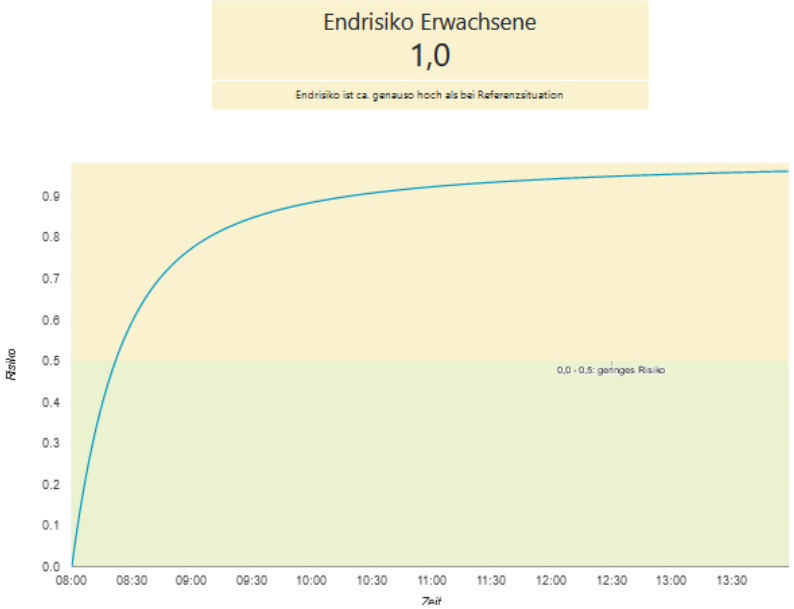
VIR-SIM

Simulationsprogramm zur instationären Abschätzung des Infektionsrisikos in Innenräumen

http://www.corona-rechner.at

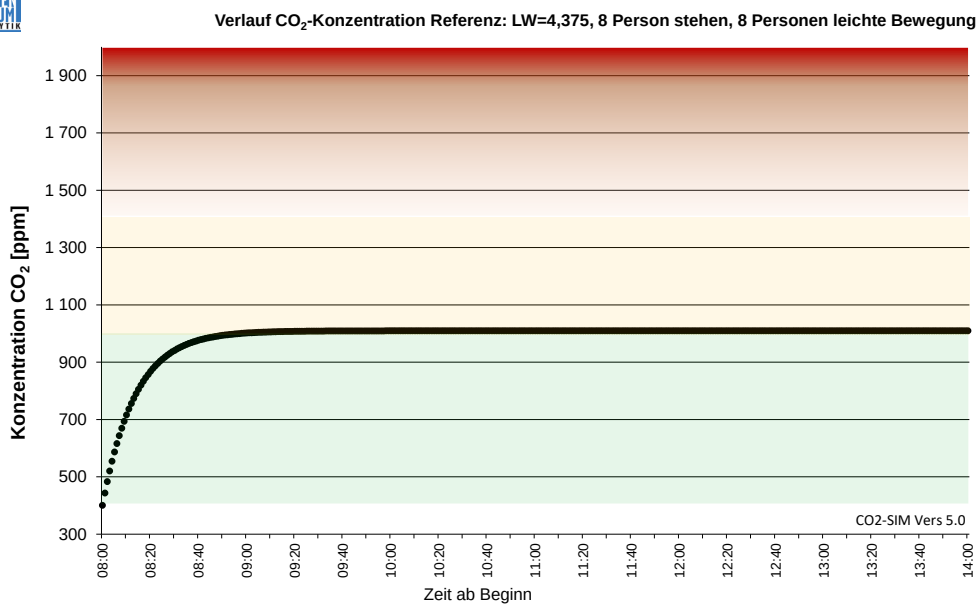

Verlauf CO_2-Konzentration Referenz: LW=4,375, 1 Person steht, 24 Personen sitzen
Konzentration CO_2 [ppm]
1 900
1 700
1 500
1 300
1 100
900
700
500
300
Arithmetischer Mittelwert = 1000 ppm
CO2-SIM Vers 5.0
08:00
08:20
08:40
09:00
09:20
09:40
10:00
10:20
10:40
11:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
Zeit ab Beginn

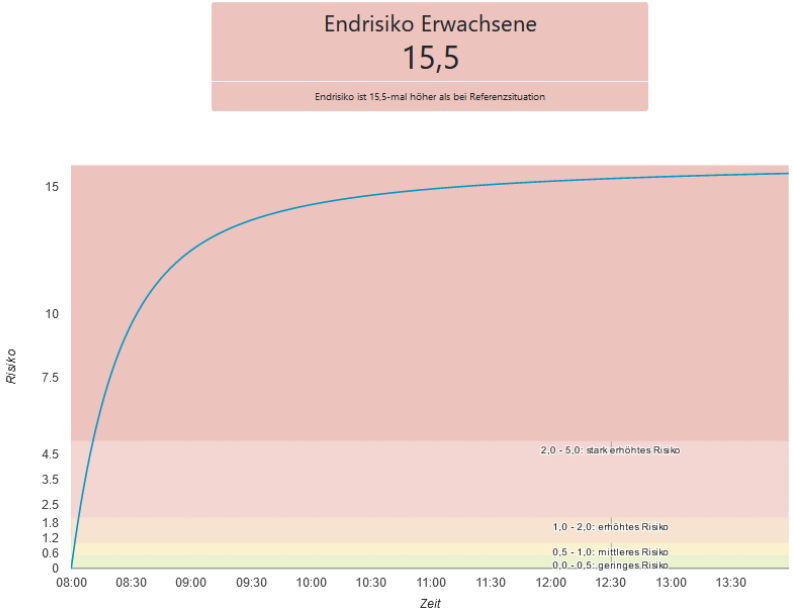




Referenzsituation - Vortrags- oder Schulraum 24 sitzende Personen atmend, eine stehende Person sprechend, LW~4,4 h^{-1}: CO_2-Ausgleichskonzentration 1000 ppm Risiko wird mit R=1 festgelegt

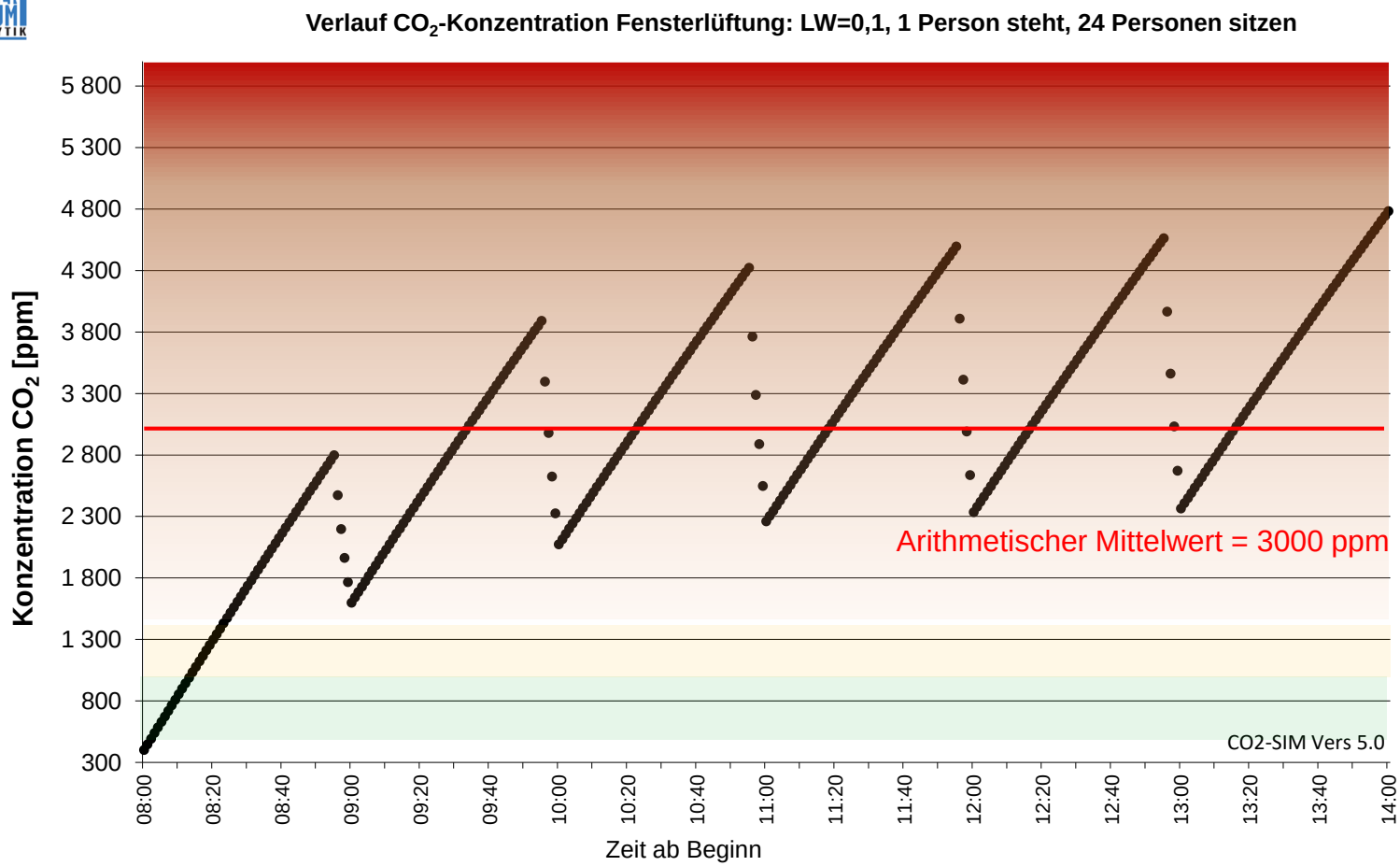
5,0 aufwärts	sehr stark erhöhtes Risiko
2,0 - 5,0	stark erhöhtes Risiko
1,0 - 2,0	erhöhtes Risiko
0,5 - 1,0	mittleres Risiko
0,0 - 0,5	geringes Risiko

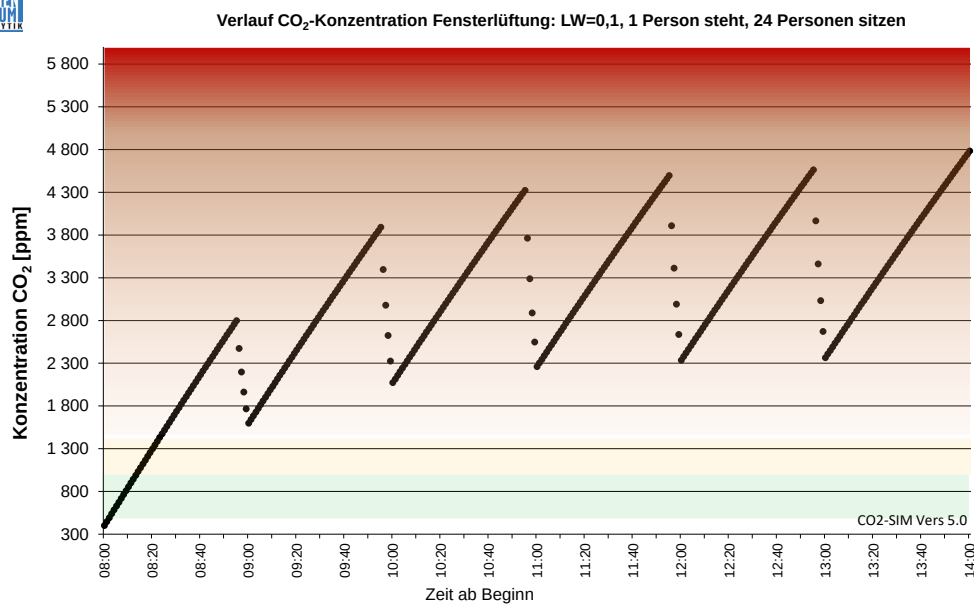


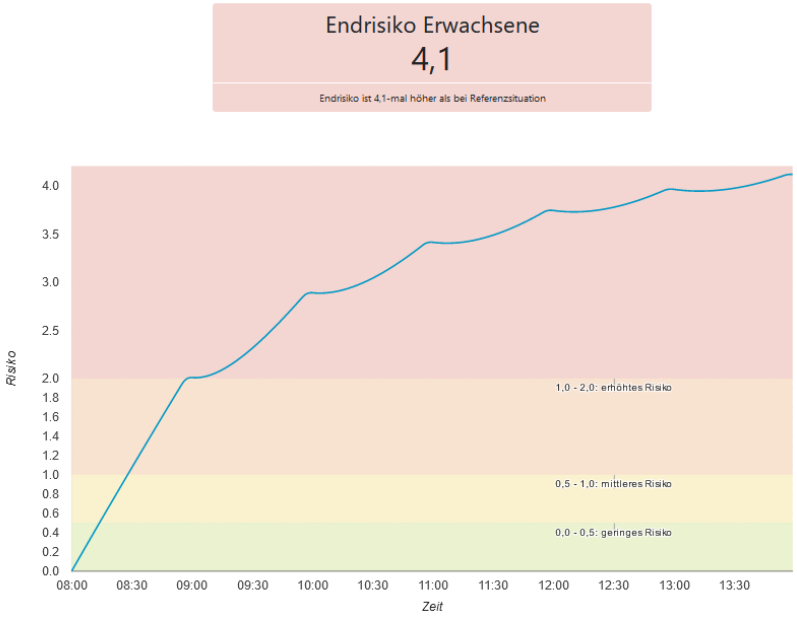


Raummaße wie Referenzsituation, 8 stehende Personen atmend, 8 stehende Personen singend, LW~4,4 h^{-1}: CO_2-Ausgleichskonzentration ~1000 ppm

5,0 aufwärts	sehr stark erhöhtes Risiko
2,0 - 5,0	stark erhöhtes Risiko
1,0 - 2,0	erhöhtes Risiko
0,5 - 1,0	mittleres Risiko
0,0 - 0,5	geringes Risiko


Verlauf CO_2-Konzentration Fensterlüftung: LW=0,1, 1 Person steht, 24 Personen sitzen
Konzentration CO_2 [ppm]
5 800
5 300
4 800
4 300
3 800
3 300
2 800
2 300
1 800
1 300
800
300
08:00
08:20
08:40
09:00
09:20
09:40
10:00
10:20
10:40
11:00
11:20
11:40
12:00
12:20
12:40
13:00
13:20
13:40
14:00
Zeit ab Beginn
Arithmetischer Mittelwert = 3000 ppm
CO2-SIM Vers 5.0



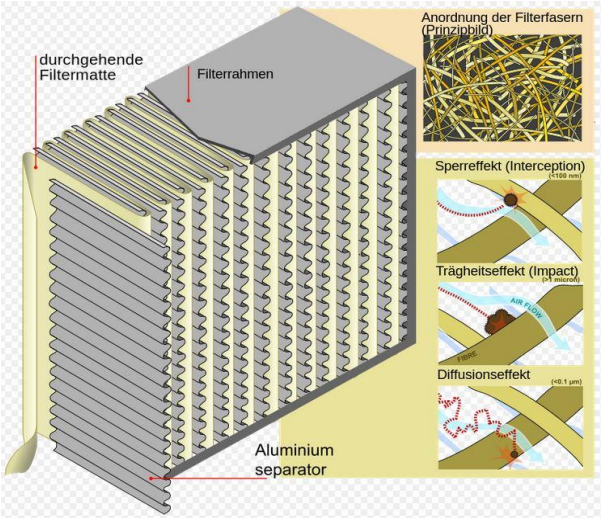


Vortrags- oder Schulraum mit Pausen-lüftung über Fenster (5 min mit LW=10), 24 sitzende Personen atmend, eine stehende Person sprechend, LW=0,1 h^{-1}

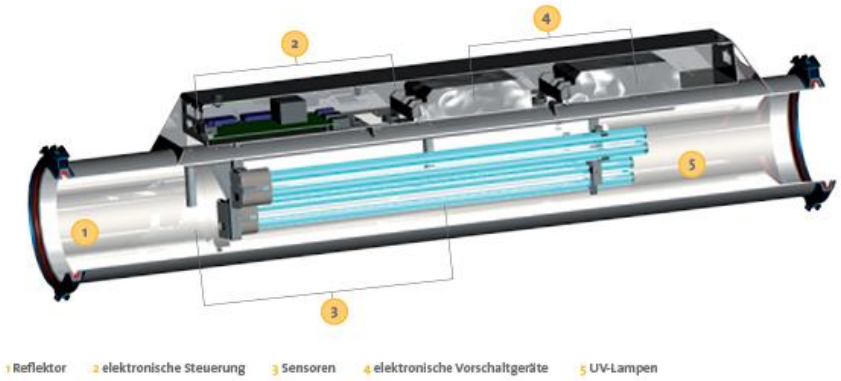
5,0 aufwärts	sehr stark erhöhtes Risiko
2,0 - 5,0	stark erhöhtes Risiko
1,0 - 2,0	erhöhtes Risiko
0,5 - 1,0	mittleres Risiko
0,0 - 0,5	geringes Risiko

Raumluftreinigungsgeräte

Mobile Luftreiniger als Übergangstechnologie waren in Pandemiezeiten als Ergänzung zu ausreichender Außenluft-zufuhr über Fensterlüftung sinnvoll – derzeit entbehrlich

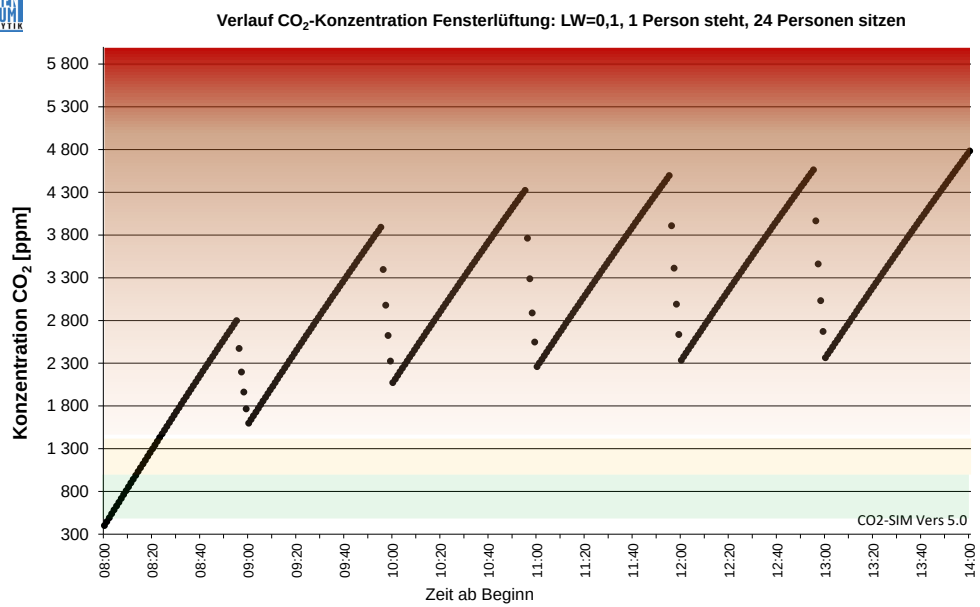


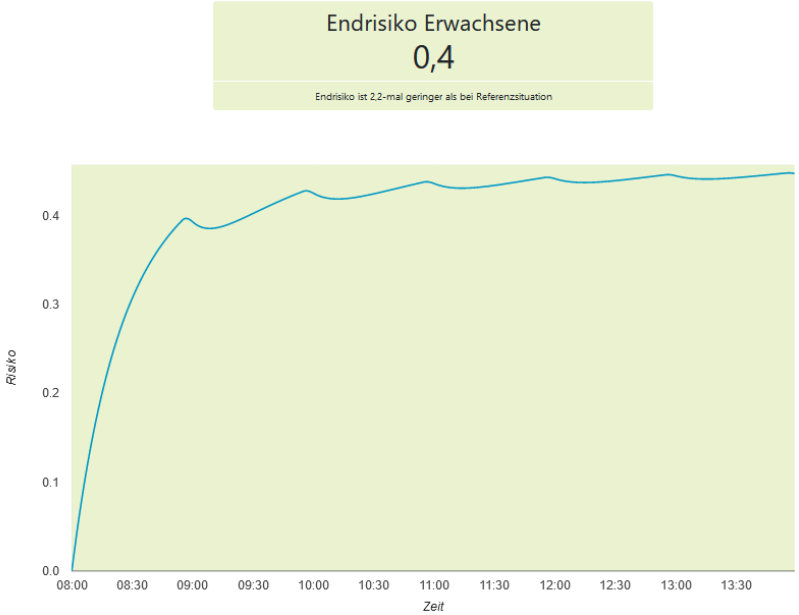
EPA- oder HEPA-Filter



© Virobuster International GmbH

UV-C-Technologie





Vortrags- oder Schulraum mit Pausen-lüftung über Fenster (5 min mit LW=10), 24 sitzende Personen atmend, eine stehende Person sprechend, LW=0,1 h^{-1},
Raumluftreiniger 800 m³/h, Maskenpflicht

5,0 aufwärts	sehr stark erhöhtes Risiko
2,0 - 5,0	stark erhöhtes Risiko
1,0 - 2,0	erhöhtes Risiko
0,5 - 1,0	mittleres Risiko
0,0 - 0,5	geringes Risiko

CO_2 als Indikator für Infektionsrisiko?

Sprachaktivität ist bestimmend für das Risiko. Beim Sprechen und Singen werden deutlich mehr Aerosolpartikel emittiert als beim Atmen.

Tabelle 3 – Übersicht über Atemvolumenströme und Aerosolkonzentrationen

Körperliche Aktivität	Atemvolumen-strom $\dot{V}_A$ in m³/h
Ausruhen (1,0 met)	0,49
Sitzen, leichte Tätigkeit (1,1 met)	0,54
Stehen, leichte Tätigkeit (1,6 met)	0,78
Gehen, leichte Anstrengung (2,8 met)	1,38
Moderate Anstrengung (4,8 met)	2,35
Schwere Anstrengung (6,7 met)	3,30

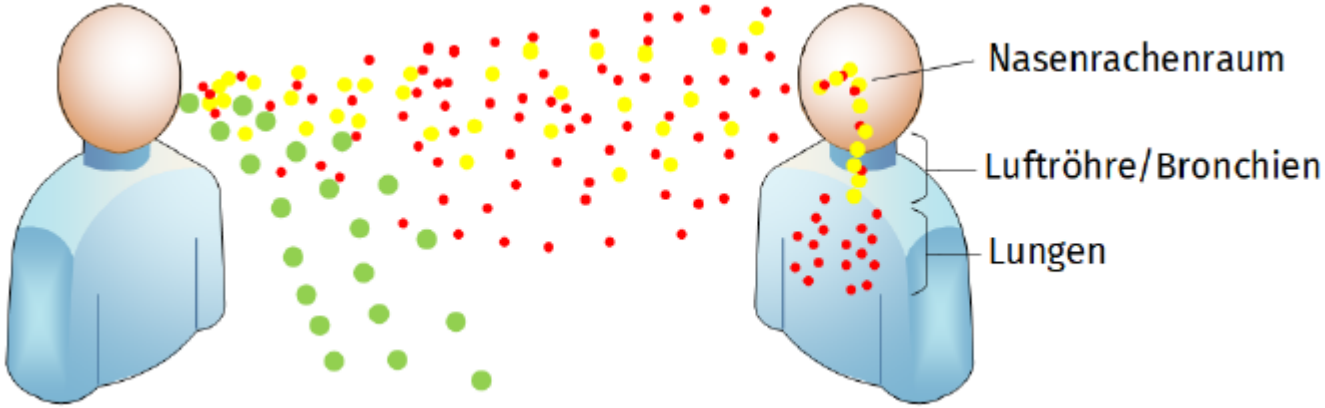
Sprechaktivität	Aerosolkonzen-tration $\zeta_{Aerosol}$ in ml/m³
Atmen	0,0018
Sprechen	0,0096
Lautes Sprechen / Singen	0,0600

Müller et al. (2021): Modellbasierte Berechnung des aerosolgebundenen Infektionsrisikos in Klassenräumen, Großraumbüros, Hörsälen und Sporthallen bei unterschiedlichen Nutzungssituationen. Gefahrstoffe 81, Nr. 03-04

Warum ist CO_2 nicht immer Indikator?

Sprachaktivität ist bestimmend für das Risiko. Beim Sprechen und Singen werden deutlich mehr Aerosolpartikel emittiert als beim Atmen.

Bei Abschätzung des Risikos muss das Atemvolumen beim Ein- und Ausatmen berücksichtigt werden.



Warum ist CO_2 nicht immer Indikator?

Sprachaktivität ist bestimmend für das Risiko. Beim Sprechen und Singen werden deutlich mehr Aerosolpartikel emittiert als beim Atmen.

Bei Abschätzung des Risikos muss das Atemvolumen beim Ein- und Ausatmen berücksichtigt werden.

Luftreinigungsgeräte oder Mund-Nasenschutz (MNB) reduzieren das Risiko, aber nicht die CO_2-Konzentration
Konservativer Default-Wert für Risikosenkung VIR-SIM:
f = 0,5 FFP2-Masken reduzieren vermutlich stärker……

Lüftungsampeln und CO_2-Messgeräte

CO_2-Messungen geeignet als grobe Risikoabschätzung für:
Schulen, Büros etc., wenn eine Situation ähnlich der Referenzsituation gegeben ist

Nicht geeignet, da Überschätzung des Risikos:
Räumen mit Raumluftreinigern (egal welches Prinzip)
Bei Verwendung von Mund-Nasenschutz (Masken, MNB)

Nicht geeignet, da Unterschätzung des Risikos:
Räume, in denen von mehreren Personen laut gesprochen und gesungen wird

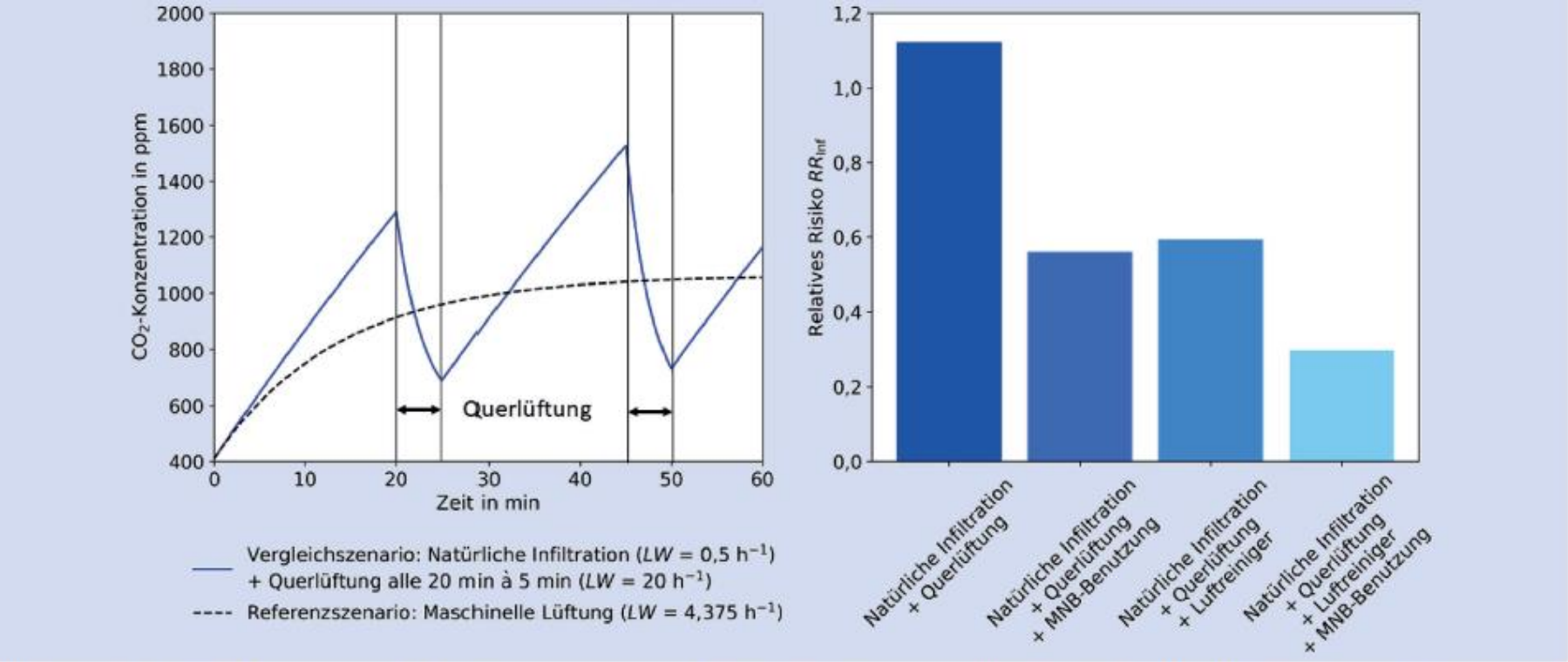


Bild 3 Vergleich der CO2-Konzentrationen für das Referenzszenario und das Querlüftungsszenario (LW = 20/h) (links); Vergleich der relativen Risiken bei unterschiedlichen Szenarien (rechts). *Quelle: nach [2]*

Müller et al. (2021): Modellbasierte Berechnung des aerosolgebundenen Infektionsrisikos in Klassenräumen, Großraumbüros, Hörsälen und Sporthallen bei unterschiedlichen Nutzungssituationen. Gefahrstoffe 81, Nr. 03-04

In Zukunft können wir uns Schulen ohne Lüftungsanlagen nicht mehr leisten

Das/der nächste Virus kommt bestimmt

Bleiben Sie gesund!

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

IBO Innenraumanalytik OG
p.tappler@innenraumanalytik.at