

„Öffne die Fenster – zu Hause und im Büro!“

Ein effizientes Lüften von Innenräumen verhindert, dass die Konzentration von Aerosolen und Tröpfchen im Innenraum zu stark ansteigt.

Detlef Lohse

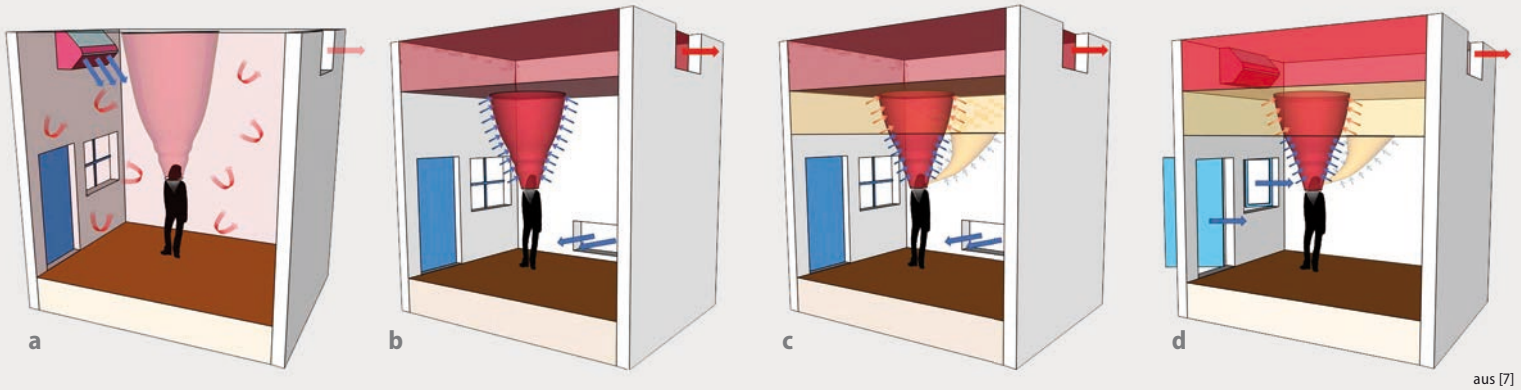


Abb. 1 Zu den Ventilationsströmen bei einer mechanischen Belüftung tragen unterschiedliche Strömungselemente bei. Vom Menschen gehen die aufwärtsgerichtete thermische Fahne aufgrund der Körperwärme (rötlich) und durch das Sprechen seitwärts gerichtete turbulente und aerosolbeladene Jets (gelblich) aus. Durch das Lüften entstehen Einlassströmungen in und Auslassströmungen aus dem Innenraum (blaue bzw. rote Pfeile). Aufgrund unterschiedlicher Dichte liegen Luftschichtungen vor mit der warmen, leichten Luft oben (rot). Die Mischlüftung (a) erzeugt lediglich einen langsamen Luftaustausch. Die Effizienz der Verdrängungslüftung hängt stark davon ab, ob Personen im Raum eine Maske tragen (b) oder nicht (c). Ersetzt das Öffnen von Fenstern und Türen die mechanische Belüftung, kommt es ebenfalls zur Verdrängung (d), die bei Außenwind besonders effizient ausfällt.

Im Frühjahr galt es vor allem, Abstand zu halten, um die Ausbreitung von Covid-19 zu reduzieren [1]. Seit Herbst steigen die Infektionszahlen wieder an – vor allem, weil wir uns vermehrt in Innenräumen aufhalten. Hier liegt eine deutlich höhere Konzentration an Aerosolen und Tröpfchen vor als draußen. Diese entstehen beim Sprechen, Lachen, Singen, Husten, Niesen und Atmen und spielen die Hauptrolle bei der Verbreitung von Covid-19 [2, 3]. Ihre Lebensdauer ist um Größenordnungen länger als in den klassischen Modellen aus den 1930er-Jahren angenommen: Kollektive Effekte und die warme, feuchte Atemluft schützen die Tropfen vor Verdampfung [4, 5]. Derzeit ist unklar, ob und wie lange das Virus ansteckend bleibt, sobald der Tropfen verdampft ist.

Schutz vor Covid-19 bieten die Ratschläge, die George A. Soper bereits 1919 nach der verheerenden Spanischen Grippe aufgeschrieben hat, basierend auf der damaligen empirischen Erfahrung [6]: „Vermeide Menschenansammlungen!“, „Trage eine Gesichtsmaske!“ und „Öffne die Fenster – zu Hause und im Büro!“

Zum Effekt des Lüftens haben nun Paul Linden und Mitarbeiter den aktuellen Kenntnisstand zusammengefasst [7]. Anders als vor der Coronapandemie geht es nun aber nicht darum, wie ein möglichst energieeffizientes Lüften erfolgt [8], sondern wie es möglich ist, den Luftaustausch zu maximieren und zu erreichen, dass die respiratorischen Aerosole und Tröpfchen möglichst ohne Kontakt zu anderen Menschen im Raum direkt nach draußen abfließen.

Paul Linden und Mitarbeiter vergleichen drei verschiedene Belüftungsszenarien. Die Stärke des Lufteinflusses mit der Einheit vollständige Luftaustausche pro Stunde (Air Changes per Hour, ACH) bestimmt, welche Konzentration an Aerosolen vorliegt. Bei der Mischlüftung befinden sich Luften- und Luftauslass auf gleicher Höhe (**Abb. 1a**). Dadurch vermischen die unteren Luftschichten wenig und bleiben fast homogen erhalten.

Richtig dimensioniert arbeitet die Verdrängungslüftung sehr viel effizienter (**Abb. 1b, c**). Dabei ist der Lufteinlass unten im Raum angebracht und

der Luftauslass diagonal dazu oder mindestens halbdagonal oben. Dadurch kommt es zu einer natürlichen Durchströmung des Innenraums von unten nach oben, welche die ausgeatmeten Aerosole nach oben abführt. Zu beachten ist die Schichtung der Luft im Innenraum: Jede Person im Raum verursacht durch Körperwärme eine aufwärtsgerichtete thermische Fahne („thermal plume“), denn die typische Wärmeleistung einer Person im Ruhezustand liegt bei 100 W. Die wärmere und leichtere Luft steigt im Innenraum nach oben. Dieser Effekt macht auch das Tragen einer Gesichtsmaske in Innenräumen effizient. Schlierenbilder zeigen, dass durch die Maske die emittierten Aerosole in Körperrnähe bleiben (**Abb. 2a**) und deshalb mit der Körperfahne aufsteigen (**Abb. 1b**). Ohne Maske transportiert sie der seitwärts gerichtete turbulente Jet (**Abb. 2b**), der beim Sprechen [9] oder Husten [4] entsteht, in tiefere Luftschichten, sodass ein Einatmen möglich wird.

Das Öffnen von Fenstern und Türen führt zur windgetriebenen Lüftung (**Abb. 1d**). Ihre Effizienz hängt

von der Anordnung der Öffnungen sowie der Windstärke und -richtung ab. Ein vertikaldiagonaler Auslass kann die Durchlüftung im Vergleich zur Verdrängungslüftung nochmals steigern [7].

Zwei Punkte verdeutlichen, warum das Lüften die Ansteckungsgefahr reduziert. Einerseits stecken vor allem asymptomatische oder präsymptomatische Infizierte andere Personen mit Covid-19 an [10]. Andererseits emittieren wir beim Sprechen und Atmen kumulativ viel mehr Aerosole in die Umgebung als beim viel selteneren Husten oder Niesen [9]. Der Zeitpunkt zum Lüften lässt sich anhand von Tracern feststellen: Die winzigen Aerosole verhalten sich ähnlich wie das Kohlendioxid, das beim Atmen entsteht [7]. Dessen Konzentration ist sehr einfach messbar und erlaubt eine Aussage über die Qualität des Lüftens, jedoch nicht direkt über die Konzentration der Viren im Innenraum. Experimente und Modellrechnungen haben gezeigt [11], dass in einem typischen Büro mit fünf Personen die Kohlendioxid-Konzentration ohne Lüftung linear mit der Zeit ansteigt. Bei einer Mischlüftung von $ACH = 2,5 \text{ h}^{-1}$ verdreifacht sich die Konzentration zunächst innerhalb einer Stunde von 500 ppm auf rund 1500 ppm und sättigt danach. Beim Lüften mit $ACH = 5 \text{ h}^{-1}$ liegt die Sättigung bei 900 ppm und wird bereits nach rund 20 Minuten erreicht. In beiden Fällen führt eine Verdrängungslüftung zu einem deutlich niedrigeren Sättigungswert [7]. Dieser hängt von der betrachteten Höhe im Raum ab, wird aber im Tagesverlauf nahezu gleichzeitig erreicht (Abb. 3).

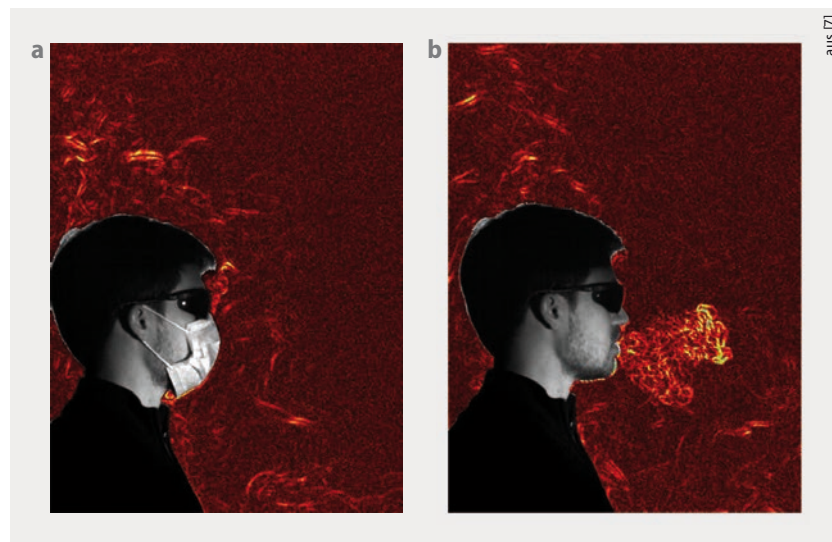


Abb. 2 Die Schlierenvisualisierung zeigt, dass die beim Sprechen emittierten Aerosole beim Tragen einer Maske (a) dichter am Gesicht bleiben als ohne diesen Schutz (b). Basis dieser Aufnahmen ist die Temperatur- bzw. Dichteabhängigkeit des Brechungsindex, wodurch bei Dichtegradienten Diffraktionsmuster entstehen.

Die Aerosol- und Tröpfchenkonzentration selbst lässt sich mit deutlich mehr Aufwand durch optische Methoden wie Laserdiffraktometrie direkt messen [12]. Solche Messungen haben gezeigt, dass ein Luftfilter in Räumen helfen kann, die sich beispielsweise aus Sicherheitsgründen nur unzureichend lüften lassen.

Während also die Frage, was SARS-CoV-2 im Körper anrichtet, ein virologisches Problem darstellt, ist die Frage, wie das Virus vom Körper A in den Körper B gelangt, mithilfe

der Fluidodynamik zu beantworten. Genauer handelt es sich um eine turbulente dispersive Mehrphasenströmung. Offensichtlich gilt es, interdisziplinär zu arbeiten, um die empirischen Regeln George A. Sopers mit den wissenschaftlichen Grundlagen unserer Zeit zu erklären [2].

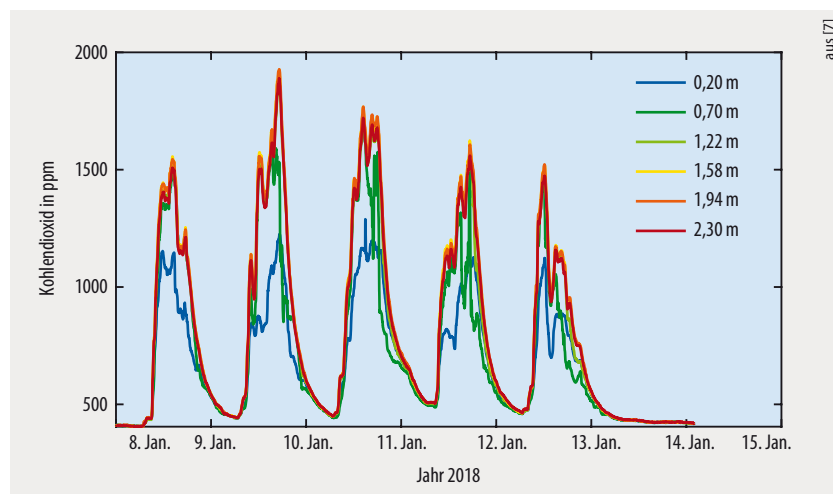


Abb. 3 Bei natürlicher Ventilation verändert sich die Kohlendioxid-Konzentration in verschiedenen Höhen eines tagsüber besetzten Büroraums im Tagesverlauf.

- [1] D. Lohse, Die Abstandsregel in Zeiten von Corona, Physik Journal, Mai 2020, S. 18
- [2] K. A. Prather et al., Science **368**, 1422 (2020)
- [3] R. Zhang et al., Proc. Nat. Acad. Sci. **117**, 14857 (2020)
- [4] L. Bourouiba, J. Am. Med. Assoc. **323**, 1837 (2020)
- [5] R. Mittal et al., J. Fluid Mech. **894**, F2 (2020)
- [6] G. A. Soper, Science **49**, 501 (1919)
- [7] R. K. Bhagat et al., J. Fluid Mech. **903**, F1 (2020)
- [8] P. F. Linden, Annu. Rev. Fluid Mech. **31**, 201 (1999)
- [9] M. Abkarian et al., Proc. Nat. Acad. Sci. **117**, 25237 (2020)
- [10] N. J. Matheson und P. J. Lehner, Science **369**, 510 (2020)
- [11] G. Pei et al., Energy and Buildings **202**, 109358 (2019)
- [12] C. J. Kähler et al., medRxiv (2020), DOI: 10.1101/2020.10.12.20211219

Der Autor

Prof. Dr. Detlef Lohse, Physics of Fluids, Max Planck Center Twente for Complex Fluid Dynamics, Department of Science and Technology, University of Twente, Niederlande und Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Am Faßberg 17, 37077 Göttingen