

Die Abstandsregel in Zeiten von Corona

Wie sich Tröpfchen und damit Viren nach dem Niesen oder Husten in Wolken ausbreiten.

Detlef Lohse

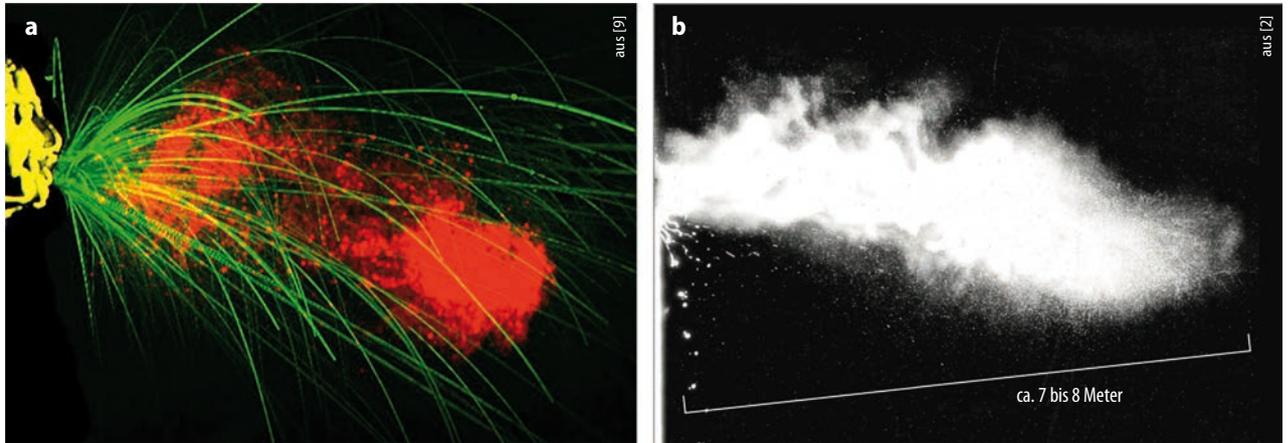


Abb. 1 Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zeigen eindrucksvoll den Niesvorgang (a): Der Kopf (gelb) vermittelt eine Vorstellung von der Längenskala. Zum einen sieht man die Flugbahnen einzelner großer Tropfen (grün), die sich ballistisch verhalten, zum anderen den turbulenten Jet von feuchter, warmer Luft, der viele kleine und kleinste Speichel- und Schleimtröpfchen enthält. Die Wolke dieser Tröpfchen kann für viele Minuten in der Luft hängen bleiben. Eine ähnliche Visualisierung (b), aber nun auf einer Längenskala von acht Metern, verdeutlicht die Reichweite der turbulenten Tröpfchenwolke des Niesens.

Die gesamte Welt kämpft mit der Corona-Pandemie und ihren Folgen und versucht mit allen Mitteln, die Ausbreitung dieses gefährlichen Virus zu verlangsamen. Eine zentrale Rolle kommt dabei der Abstandsregel zu: Der Abstand untereinander soll mindestens anderthalb oder besser noch zwei Meter betragen. Doch woher kommt diese Regel? Die überraschende Wahrheit ist, dass sie auf einer Theorie zur Virusinfektion durch Tröpfchen aus den 1930er-Jahren beruht [1], die längst überholt ist. Heute weiß man, dass selbst ein Abstand von fünf Metern noch nicht unbedingt „sicher“ ist.

William F. Wells entwickelte damals im Zusammenhang mit der Übertragung von Tuberkulose ein Modell unter der Annahme [1], dass die beim Niesen und Husten entstehenden Tropfen eine breite Größenverteilung haben und ohne große Wechselwirkung untereinander aus Mund und Nase fliegen. Wells ging davon aus, dass die kleinen Tröpfchen meistens kein Problem seien, weil sie sehr schnell in der Luft verdunsten und somit trockene und darum weniger gefährliche Aerosolkleinstteilchen

hinterlassen würden, während sich die großen Tropfen ballistisch verhielten. Die Grenze zwischen Groß und Klein liegt in diesem zu Risikoabschätzungen immer noch gebräuchlichen Modell recht willkürlich bei einem Tropfendurchmesser von 5 bis 10 μm . Zum Vergleich: Ein Virus hat einen typischen Durchmesser von 100 nm; Bakterien wie der Tuberkelbazillus sind mehr als zehnmals größer. In einen Tropfen von 1 μm Durchmesser passen bei einer Viruskonzentration von einem Prozent also immer noch zehn Viren. Unter welchen Umständen das zu einer Infektion ausreicht, hängt vom Virus ab und ist für das Coronavirus noch unbekannt.

In den letzten Jahren haben die Arbeiten von Lydia Bourouiba vom MIT zur Fluidynamik des Niesens und Hustens deutlich gezeigt, dass das von Wells entwickelte Bild unzureichend ist. In ihrer aktuellen Veröffentlichung arbeitet sie heraus, was ihre experimentellen und theoretischen Ergebnisse der letzten Jahre für die Risikoabschätzung der Übertragung des Coronavirus bedeuten [2]. Einen Eindruck davon vermitteln die Hoch-

geschwindigkeitsfilme des Niesvorgangs (vgl. Video in [2]), die sie und ihre Mitarbeiter in den letzten Jahren aufgenommen haben [3, 4] (**Abb. 1**). Diese verdeutlichen, dass die Wolke kleinster Speichel- und Schleimtröpfchen bis zu acht Meter weit reicht und bis zu zehn Minuten bestehen bleibt, also viel ausgedehnter und langlebiger ist als im Modell von Wells.

Der Grund hierfür ist die warme und zudem feuchte Luft, mit welcher die Speichel- und Schleimtröpfchen ausgestoßen werden: Die Feuchtigkeit verzögert die Verdunstung ganz erheblich. Zusätzlich schützen sich die Tröpfchen in der Wolke gegenseitig vor dem Verdunsten: Die Verdunstungsrate bestimmt sich aus den Feuchtigkeitsgradienten an der Tropfenoberfläche. Diese sind in einer Wolke, in der jedes Tröpfchen Wasserdampf an die Umgebung abgibt, viel kleiner als für einzelne, isolierte Tröpfchen. Beide Effekte zusammen können die Verdunstung der kleinen Tröpfchen leicht um einen Faktor 1000 verzögern [2]. Ihre Lebensdauer ist also nicht durch ihre Größe selbst bestimmt, sondern durch die Fluid-

dynamik der Wasserdampfkonzentration in der Wolke um sie herum [5, 6].

Darüber hinaus spielt ein weiterer fluiddynamischer Effekt eine wichtige Rolle: Das Niesen oder auch das Sprechen und Ausatmen lässt sich als kurzer Puls eines turbulenten Jets ansehen. Dieser zeichnet sich durch eine höhere Temperatur sowie eine höhere Wasserdampfkonzentration als die Umgebung aus und ist damit leichter als diese. Gleichzeitig ist er wegen der kleinen und kleinsten Speichel- und Schleimtröpfchen schwerer als die umgebende Luft. Diese beiden Effekte können sich teilweise kompensieren. Der Mitnahmeeffekt der umgebenden Luft und die Rate, mit der die schweren Tröpfchen zu Boden sinken, sind wichtige Faktoren, welche die Dichte der Wolke bestimmen. Die turbulente Tröpfchenwolke kann durch den zweiten Effekt mit der Zeit leichter werden als ihre Umgebung und aufsteigen [3]. Diese Effekte haben Lydia Bourouiba und Mitarbeiter bereits 2014 auf einfache hydrodynamische Weise modelliert (**Abb. 2**), was gut mit Messdaten zur Reichweite von Tröpfchenwolken definierter Größe übereinstimmt [3].

Beim Niesen oder Husten in geschlossenen Räumen liegen kaum Konvektionseffekte durch Wind vor, welche die Tröpfchenwolke verwehen. Stattdessen erzeugt eventuell eine Klimaanlage eine fatale Situation: Die warme turbulente Wolke der kleinen und kleinsten Speichel- und Schleimtröpfchen steigt auf in das Belüftungssystem der Klimaanlage, welches sie im ganzen Gebäude verteilt. Daher verwundert es nicht, dass der Durchseuchungsgrad von Passagieren und Besatzung auf Kreuzfahrtschiffen so hoch ist, auf denen COVID-19 ausgebrochen ist. In der Tat wurde in einem Krankenhaus die Verbreitung des Coronavirus durch das Ventilationssystem nachgewiesen [7], was Bourouibas Theorie der Virenverbreitung durch turbulente und warme Tröpfchenwolken untermauert [2].

Welche Maßnahmen eignen sich somit gegen die Verbreitung des Coronavirus? Offensichtlich ist es sinnvoll, das Einbringen der Speichel- und Schleimtröpfchen in die Umgebung zu minimieren, etwa durch das Niesen und Husten in die Armbeuge. Dabei

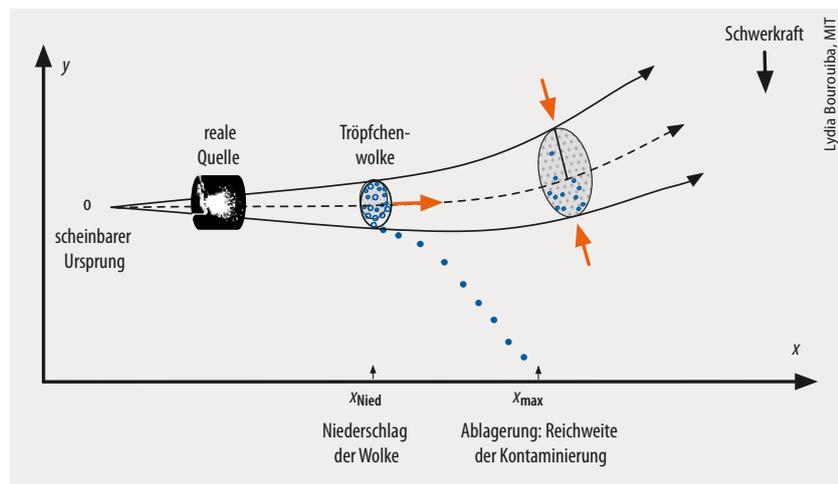


Abb. 2 Der warme, turbulente Jet aus Speichel und Schleimtröpfchen, der beim Niesen oder Husten entsteht, zeigt eine komplexe Dynamik und eine große Reichweite [3].

kann sich übrigens jeder sofort davon überzeugen, dass der turbulente Jet in der Tat warm ist. Auch das Ausatmen durch einen Mundschutz, in dem die Tröpfchen hängen bleiben, kann in geschlossenen Gebäuden sinnvoll sein. Insbesondere sollte das Wissen, dass die turbulenten, mit Speichel- und Schleimtröpfchen beladenen Jets nicht ein bis zwei Meter weit reichen, sondern acht Meter und mehr, zu geeigneten Schutzmaßnahmen für das medizinische Personal führen, etwa durch hochwertige Masken und Schutzkleidung. Auch die Ventilationssysteme in Gebäuden mit Infizierten gilt es anzupassen.

Viele Fragen sind noch offen: So sind die bestehenden Theorien für die Fragmentation von Flüssigkeiten [8], welche die so wichtige anfängliche Größenverteilung der Tropfen bestimmen, fast alle nur für newtonsche Flüssigkeiten entwickelt. Bei einer ordentlichen Erkältung trifft diese Annahme aber sicher nicht zu: Nasen- und Rachensekrete verhalten sich nichtnewtonsch. Diese viskoelastischen Eigenschaften spielen eine wichtige, im Allgemeinen hemmende Rolle bei der Fragmentation [4], was die Größenverteilung der Tröpfchen und damit die Lebensdauer und Reichweite der turbulenten Tröpfchenwolke stark beeinflusst. Auch dies wirkt sich auf die Anforderungen an die Durchlässigkeit von Schutzmasken aus.

Der Ausbruch der Corona-Pandemie hat sehr deutlich gemacht, wie

dringend es ist, die vielen offenen Fragen zur Fluidphysik des Niesens, Hustens, Sprechens, Singens oder Ausatmens zu beantworten. Aerosole und ihre Verweildauer in der Luft spielen dabei eine zentrale Rolle [10]. Zudem zeigte sich, wie wichtig die Grundlagenforschung in einem Untergebiet eines Fachs plötzlich werden kann, das bisher als Nische angesehen wurde.

- [1] W. F. Wells und M. W. Wells, *J. Am. Med. Assoc.* **107**, 1698 (1936)
- [2] L. Bourouiba, *J. Am. Med. Assoc.* (2020), DOI: 10.1001/jama.2020.4756
- [3] L. Bourouiba, E. Dehandschoewercker und J. W. Bush, *J. Fluid Mech.* **745**, 537 (2014)
- [4] B. Scharfman, A. Tchet, J. Bush und L. Bourouiba, *Exp. in Fluids* **57**, 24 (2016)
- [5] A. De Rivas und E. Villiermaux, *Phys. Rev. Fluids* **1**, 014201 (2016)
- [6] E. Villiermaux et al., *Phys. Rev. Fluids* **2**, 074501 (2017)
- [7] S. W. X. Ong et al., *J. Am. Med. Assoc.* (2020), DOI: 10.1001/jama.2020.3227
- [8] E. Villiermaux, *Annu. Rev. Fluid Mech.* **39**, 419 (2007)
- [9] S. Poulain und L. Bourouiba, *Physics Today* **72**, 70 (2019)
- [10] S. Asadi et al., *Aerosol Sci. & Techn.* (2020), DOI: 10.1080/02786826.2020.1749229

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