

Ausbreitungsdistanz und -dynamik von Aerosolen in Innenräumen durch Konvektionsströme

Autoren: Martin Kriegel¹, Anne Hartmann¹

1: Hermann-Rietschel-Institut der TU Berlin, m.kriegel@tu-berlin.de

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10391>

Einleitung:

Nach aktuellem Kenntnisstand bilden Aerosole einen der Hauptübertragungswege von SARS-CoV-2 [1]. Personen geben beim Atmen, Sprechen, Husten [2] und Singen [3] Partikel ab. Sie sind in der Regel so klein, dass sie ideal luftgetragen sind und damit als Aerosole bezeichnet werden. Ist eine der im Raum befindlichen Personen erkrankt, können auf den Aerosolen Viren transportiert werden. Mit zunehmender Dauer des Aufenthalts werden die Aerosole im Raum aufkonzentriert und können kritische Werte für eine Infektion erreichen [4]. Entscheidend dafür, ob kritische Werte erreicht werden, ist der Luftwechsel und die Art der Zufuhr von frischer, unbelasteter Luft sowie die Anzahl der infizierten Personen im Raum [4]. Mehrfach wurde zumeist in der allgemeinen Presse publiziert, dass „Klimaanlagen“ zur Verbreitung von virenbeladenen Aerosolen beitragen, da die Aerosole durch den Luftstrom dieser Anlagen weit verteilt würden. Dieser Behauptung muss entschieden widersprochen werden.

Grundlagen

Raumluftströmungen werden durch Konvektionsströme verursacht. Dabei sind zwei Arten zu unterscheiden: freie und erzwungene Konvektionsströmung. Freie Konvektionsströmungen werden durch Dichte-/Temperaturunterschiede hervorgerufen und erzwungene Konvektionsströmungen durch mechanische Kräfte. In typischen geschlossenen Räumen verursachen Wärmequellen z.B. Personen und/oder Heizkörper einen thermischen Auftrieb und damit die freien Konvektionsströme. Sämtliche mit Strömungsmaschinen (z.B. Ventilatoren) betriebenen Anlagen wie z.B. Lüftungs-, Teil- und Vollklimaanlagen, Umluftkühler, etc., erzeugen eine erzwungene Strömung. Ferner wird bei der erzwungenen Strömung die Art der Luftführung unterschieden zwischen Mischlüftung, Quelllüftung und Verdrängungslüftung [5]. Es existieren davon ebenfalls verschiedene hybride Arten. In der Regel sind in der Praxis hauptsächlich das Mischlüftungs- und das Quelllüftungsprinzip zu finden. Nur bei ganz besonderen Anforderungen an die Reinheit der Raumluft wird Verdrängungslüftung eingesetzt.

Zur Beurteilung der Auswirkungen von freien und erzwungenen Konvektionsströmen auf die Verbreitung von Aerosolen in geschlossenen Räumen können die Größenordnungen der sich einstellenden Volumenströme betrachtet werden, mit denen die Aerosole im Raum verteilt werden.

Für den thermischen Auftrieb einer Wärmequelle kann Gleichung (1) aus [6] herangezogen werden, auch wenn es hierzu abweichende Angaben gibt [7].

z in Gleichung (1) bedeutet die Höhe über dem virtuellen Ursprung einer ausgedehnten Wärmequelle nach Abbildung 1 aus [6], wobei der maximale Fall für Wärmequellen mit einer niedrigen Temperatur und der minimale Fall für Wärmequellen mit einer hohen Temperatur empfohlen wird [6].

$$q_{v,z} = 5 \cdot \phi^{1/3} \cdot z^{5/3} \quad (1)$$

mit:

$q_{v,z}$...Volumenstrom über einer Wärmequelle in l/s

ϕ ...Wärmeleistung der Wärmequelle in W

z ...Höhe über der virtuellen Wärmequelle in m

$$z_{0,max} = 2,3 \cdot D \quad (2)$$

$$z_{max} = z_{0,max} + h \quad (3)$$

$$z_{0,min} = 1,8 \cdot D \quad (4)$$

$$z_{min} = z_{0,min} + h - \frac{D}{3} \quad (5)$$

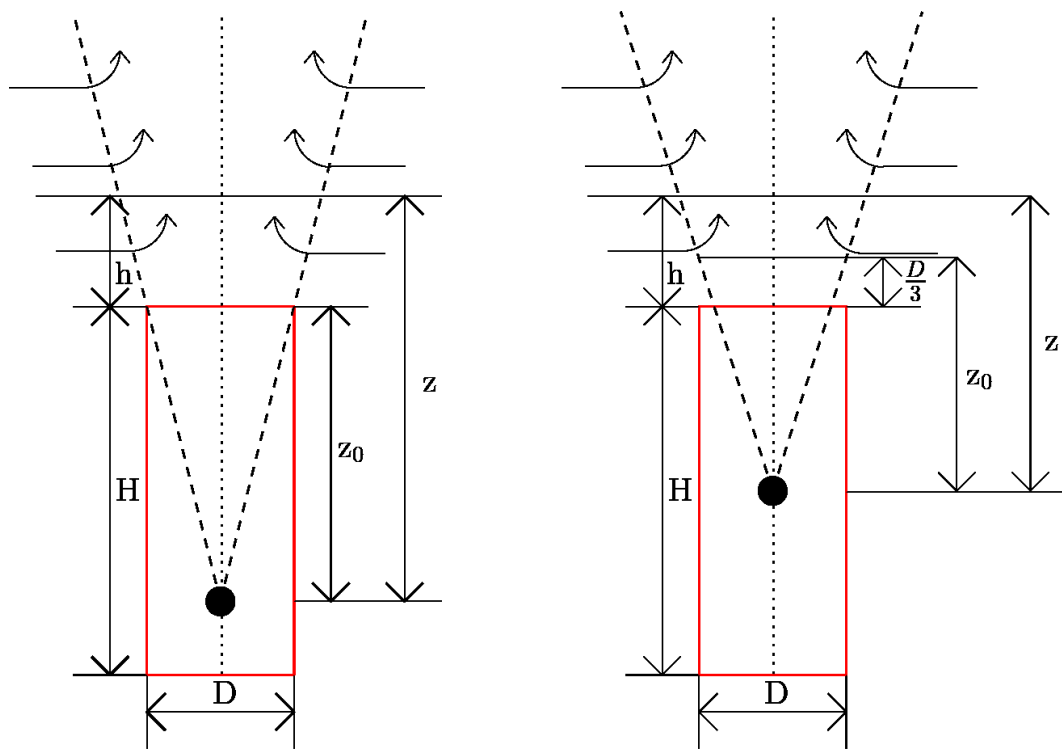
mit:

z_0 ...Position der virtuellen Wärmequelle in m

D ...Durchmesser der Wärmequelle in m

z ...Höhe über der virtuellen Wärmequelle in m

h ...Höhe über dem Zylinder in m



Maximaler Fall

Minimaler Fall

Abbildung 1: Konvektionsströme über einem Zylinder nach [6]

Die Größenordnung der erzwungenen Strömung kann über die Strahlgesetze [8] berechnet werden. In einfachster Annahme eines isothermen runden Freistrahls ergibt sich der Volumenstrom nach Gleichung (3) aus [8].

$$\frac{\dot{V}}{\dot{V}_0} = 2 \frac{m \cdot x}{d} \quad (6)$$

mit:

\dot{V}_0 ...Volumenstrom beim Eintritt in den Raum

\dot{V} ...Volumenstrom in Abstand x vom Eintritt

x...Abstand vom Eintritt

m...Mischzahl

d...Durchmesser des Freistrahls

Anwendungsbeispiel:

Im Folgenden wird ein theoretischer Fall betrachtet: 1 Person hält sich in einem Volumen von 30 m³ (Grundfläche 10 m², Höhe 3 m) auf. Der dazugehörige erzwungene Luftstrom beträgt 40 m³/h und wird im Mischlüftungsprinzip an der Decke eingeblasen.

Die, die Aerosolverteilung beeinflussenden, Volumenströme werden in 1 m Höhe über der Wärmequelle und 1 m Abstand von dem Lufteintritt nach Gleichung (1) und (6) berechnet und miteinander verglichen. Dabei kommen folgende Annahmen zum Einsatz:

$$Q_{konvektiv} = 50W$$

$$H_{WQ} = 1,1m$$

$$D_{WQ} = 0,3m$$

$$m = 0,2$$

$$d_{zu} = 0,2m$$

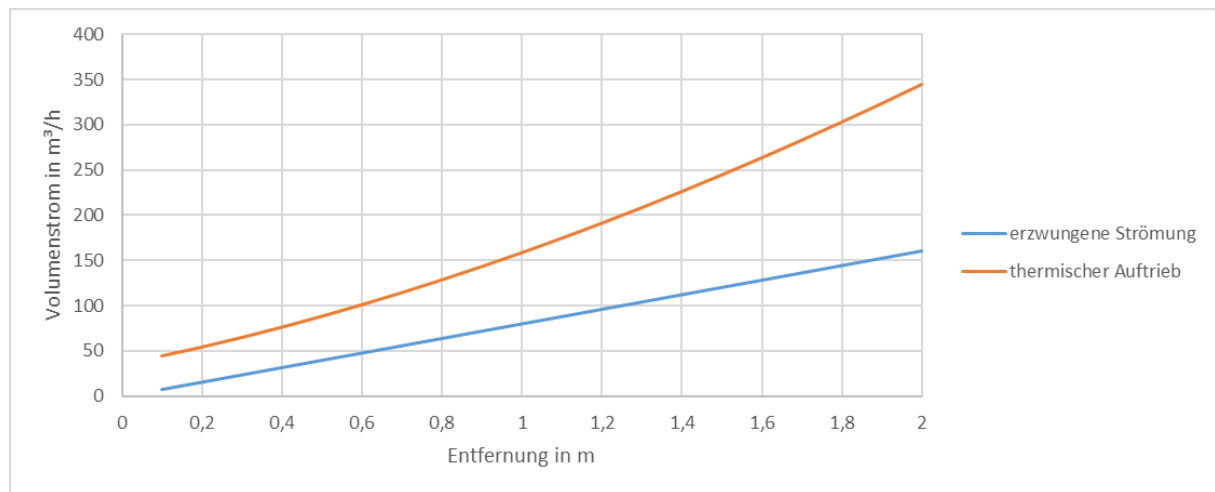


Abbildung 2: Volumenstrom durch erzwungene Strömung und thermischen Auftrieb

Die Berechnung nach Gleichung (1) für den freien Konvektionsstrom 1 m oberhalb der Wärmequelle ergibt 160 m³/h. Für den erzwungenen Volumenstrom wird nach Gleichung (6) in 1 m Abstand von dem Lufteintritt 80 m³/h erhalten.

Allein der Vergleich des freien mit dem erzwungenen Konvektionsstrom offenbart, dass der thermische Auftriebsstrom größer ist. Wirkt einer der beiden alleine im betrachteten Volumen, so würden sich aufgrund der Energie-, Impuls- und Stoffbilanz und der sich ergebenden Tubulenzstrukturen Aerosole bereits überall im Raum relativ gleichmäßig verteilen. Die Verteilungsgeschwindigkeit hängt dabei von der Luftgeschwindigkeit im Raum ab. Diese ist ortsabhängig sehr verschieden. Außerhalb der primären Luftströme kann bei reiner freien Konvektionsströmung in dem betrachteten Volumen etwa 0,01 bis 0,05 m/s angenommen werden. Bei Überlagerung von freier und erzwungener Strömung sind es etwa 0,05 bis 0,1 m/s, also doppelt so schnell. Diese Geschwindigkeiten erscheinen auf den ersten

Blick sehr wenig. Für übliche Aufenthaltsdauern in Räumen in Höhe von mehreren Minuten bis Stunden relativiert sich das. Ein Aerosol benötigt demnach für eine Distanz von 1,5 m zwischen 150 s und 30 s bei freier Konvektionsströmung und 30 s bis 15 s wenn sowohl freie als auch erzwungene Konvektion vorhanden sind.

Erhöht sich die Personenzahl pro m^2 Grundfläche so erhöht sich auch der spezifische (flächenbezogene) Auftriebsvolumenstrom.

Wie schnell und wie gleichmäßig die Verteilung vor sich geht, zeigen auch die Videos auf [9], die Ergebnisse einer CFD Simulation zeigen mit und ohne Lüftungsanlage.

Zusammenfassung und Diskussion:

Unter den vereinfachten Annahmen konnte gezeigt werden, dass sich selbst ohne erzwungene Konvektionsströme, also ohne Lüftungsanlagen jeglicher Form, Aerosole überall im Raum verteilen werden. Die freien Konvektionsströme sind in der Regel höher als die erzwungenen. Wirken sie zusammen, so erhöht sich zwar die Ausbreitungsgeschwindigkeit, was sich jedoch bei typischen Aufenthaltsdauern in Räumen nicht negativ auf die Aerosolexposition auswirkt.

Literatur:

- [1] Robert-Koch-Institut (2020): SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19),
https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1, letzter Zugriff: 08.07.2020, 14:00Uhr
- [2] Hartmann, A. , Lange, J. , Rotheudt, H. , Kriegel, M. (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, in: Preprint,
<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332>
- [3] Mürbe, D., Fleischer, M., Lange, J., Rotheudt, H., Kriegel, M. (2020): Erhöhung der Aerosolbildung beim professionellen Singen, in: Preprint,
<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10374>
- [4] Kriegel, M., Hartmann, A. (2020): Risikobewertung von Innenräumen zu virenbeladenen Aerosolen, in: Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10343.2>
- [5] Rietschel, H., Fitzner, K. (2008): Raumklimatechnik – Band 2: Raumluft- und Raumkühltechnik, 16. Auflage, Springer, ISBN: 978-3-540-57011-0
- [6] Skistad, H., Mundt, E., Nielsen, P. V., Hagström, K., Railio, J. (2002): Displacement Ventilation in non-industrial premises, REHVA Guidebook No. 1
- [7] Kriegel, M. (2005): Experimentelle Untersuchung und numerische Simulation eines Quellluftsystems, Dissertation
- [8] Regenscheidt, B. (1959): Die Luftbewegung in klimatisierten Räumen, in: Kältetechnik, 11, S. 3-11
- [9] https://blogs.tu-berlin.de/hri_sars-cov-2/2020/05/12/einfluss-einer-lueftung-auf-die-ausbreitung-von-partikeln-in-einem-buero/