

Von guter Luft, CO₂-Ampeln, Masken, Luftreinigern und Lüftungsanlagen in Schulen

Was ist gute Luft?

Das Problem ist bekannt: Gerade in der kalten Jahreszeit wird die nötige Frischluft für Aufenthaltsräume häufig nur in unzureichendem Maße zugeführt. Die anwesenden Personen etwa in Klassenzimmern, Hörsälen oder Büroräumen klagen in der Folge vermehrt über Konzentrationsschwäche, Kopfschmerzen, Müdigkeit und Schwindel. Aber ab wann ist die Raumluft wissenschaftlich betrachtet gut oder schlecht und wie kann die Luftgüte gemessen werden?

Der Kohlendioxidanteil in der Raumluft hat sich dabei als guter Indikator für die Qualität der Raumluft erwiesen, die zusätzlich noch von weiteren Ausdünstungen und Schadstoffen unterschiedlichster Art beeinflusst wird. Nach den Empfehlungen des Arbeitskreises Lüftung (AK Lüftung) am Umweltbundesamt „darf die Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) in der Innenraumluft von Unterrichtsräumen im Mittel einer Unterrichtseinheit eine Konzentration von 1000 ppm nicht überschreiten“ (Quelle: „Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden, Teil I: Bildungseinrichtungen, UBA, November 2017). Kurzzeitige Überschreitungen sind also akzeptabel, solange der Mittelwert von 1000 ppm (oder 0,1 %) CO₂ während der Unterrichtseinheit eingehalten wird. Zum Vergleich: Die CO₂-Konzentration in der Außenluft liegt je nach Umgebung bei ca. 400 bis 500 ppm.

Um die Luftgüte wieder zu verbessern, muss dem Raum frische Luft zugeführt werden. Dies kann mit freier (auch natürlich genannte) Lüftung z.B. über Fenster geschehen oder durch eine mechanische, also ventilatorgestützte Lüftungsanlage.

Was sind virushaltige Aerosole?

Laut Robert-Koch-Institut ist „der Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 die respiratorische Aufnahme virushaltiger Partikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen, Singen und Niesen entstehen.“ (Quelle: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html, abgerufen am 13.11.2020). Während Partikel, die einen Durchmesser größer als 0,1 mm aufweisen, schnell zu Boden sinken, können die sogenannten Aerosole

mit einer Größe von weniger als 0,1 mm auch bis zu einigen Stunden in der Luft schweben und sich in geschlossenen Räumen verteilen (Quelle: <https://tinyurl.com/FAQ-aerosols>, Abgerufen am 13.11.2020). Einige Forscher bezeichnen Partikel nur bis zu einer Größe von 5 µm (das sind 0,005 mm) als Aerosole.

Was empfiehlt das Umweltbundesamt?

Das Umweltbundesamt empfiehlt für Schulen einen dreifachen Luftwechsel pro Stunde (<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/coronaschutz-in-schulen-alle-20-minuten-fuenf>, abgerufen am 13.11.2020), um sich vor infektiösen Partikeln zu schützen. Das heißt, die Luft im Innenraum sollte dreimal pro Stunde vollständig mit Außenluft ersetzt werden. Diese Empfehlung kann sowohl mittels weit geöffneter Fenster durch Stoß- oder Querlüftung intervallweise als auch mit mechanischen Lüftungsanlagen kontinuierlich erfolgen. Ob dieser pauschale Luftwechsel in ausreichendem Maße vor einer COVID-19-Infektion schützt, ist allerdings fraglich.

Wie kann die Luftgüte gemessen werden?

Da sowohl Kohlendioxid als auch potenziell virusbeladene Aerosole infolge der menschlichen Atmung an die Raumluft abgegeben werden, ist es naheliegend, aus der gut messbaren CO₂-Konzentration auf die wahrscheinliche Aerosolkonzentration zu schließen. Aus diesem Grund finden die seit jeher sinnvoll



Abbildung 1: Links: kostengünstiges CO₂-Messgerät mit Datenaufzeichnung (Foto: Privat), Rechts: CO₂-Ampel "SCHOOL" der Elektrotechnik Schabus GmbH & Co. KG. (Bildquelle: <https://www.elektrotechnik-schabus.de/de/warnsysteme-gas-rauch/gasmelder/co2-ampel-school>, abgerufen am 08.12.2020)

len CO₂-Messgeräte auch in der aktuellen Covid-19-Pandemie reißenden Absatz. Mit diesen kann man die jeweiligen Konzentrationen im Raum messen

und erhält beim Überschreiten einstellbarer Grenzwerte einen akustischen Hinweis zum Lüften. Eine Vereinfachung stellen CO₂-Ampeln dar. Diese signalisieren mit den Ampelfarben grün (unter 1000 ppm), gelb (zwischen 1000 und 2000 ppm) und rot (ab 2000 ppm) die Notwendigkeit zum Lüften.

Beim praktischen Einsatz von CO₂-Messgeräten oder CO₂-Ampeln in Klassenzimmer etwa offenbart sich ein wesentlicher Nachteil der freien Lüftung: Durch die nicht-kontinuierliche Abfuhr der Schadstoffe kommt es bei geschlossenen Fenstern in kürzester Zeit zu einer Akkumulation von CO₂ und damit auch von Aerosolen, sodass Lehrer berichten, dass „in Wirklichkeit das Gerät aber viel früher und öfter piept“, als es etwa das Umweltbundesamt mit seinem 20-minütigen Lüftungsintervall empfiehlt.

(Quelle: <https://www.welt.de/regionales/nrw/article222057788/Lehrer-in-der-Corona-Krise-Die-Faustregel-fuer-die-Belueftung-der-Klassenzimmer-ist-ein-Maerchen.html>, abgerufen am 08.12.2020)

Wie hoch ist das Ansteckungsrisiko in Innenräumen?

Zur Vorhersage des Infektionsrisikos über Aerosole in Innenräumen existieren verschiedene Modelle. Das Online-Tool der Technischen Universität Berlin (<https://hri-pira.github.io/>, abgerufen am 05.12.2020) etwa geht davon aus, dass sich eine infizierte Person im Raum befindet, die AHA-Regeln eingehalten werden und erlaubt die Variation von Raumvolumen, Personenanzahl und Aktivität. Außerdem ist es möglich, das Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes (MNS) sowie die Belüftungssituation und die Wirkung von Luftreinigern zu berücksichtigen.

Für einen Klassenraum mit einem Luftvolumen von 180 m³, 24 Schülern plus einer Lehrkraft, der Anwesenheit einer infizierten Person, ohne Verwendung eines MNS, einer Aufenthaltsdauer von 6 Stunden und besagtem dreifachem Luftwechsel pro Stunde beträgt das Ansteckungsrisiko beim Sitzen, Stehen oder Sprechen rund 48 %. Werden von allen Personen noch zusätzlich medizinische Einweg-Gesichtsmasken (umgangssprachlich OP-Masken) zertifiziert nach DIN EN 14683, Typ I mit eng anliegendem Sitz getragen, so reduziert sich das Risiko einer Ansteckung auf 23 %. Unter denselben Bedingungen aber bei lockerem Sitz des MNS verdoppelt sich das Risiko aber wieder nahezu auf 44 %. Von pauschal sicheren Bedingungen für alle Anwesenden kann also

keine Rede sein. Wird die Zufuhr von Frischluft pro Person auf 40 Kubikmeter pro Stunde nun deutlich verbessert, so ergibt sich für den angegebenen Raum ein 5,6-facher Luftwechsel pro Stunde. Das gerundete Infektionsrisiko beträgt in diesem Fall bei eng anliegendem Sitz des medizinischen MNS 15 %, bei lockerem Sitz 30 % und ohne MNS 33 %. Das korrekte Tragen des Mund-Nasen-Schutzes ist für die Unterbindung der Übertragung durch Aerosole also von entscheidender Bedeutung.

Was ist beim Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung zu beachten?

Ein möglichst guter umlaufender Sitz bei der Verwendung einer Mund-Nasen-Bedeckung ist unerlässlich. Messungen mit Behelfs-Mund-Nasen-Maske und OP-Maske haben ergeben, dass ein Spalt, der lediglich einen Anteil von 1 % der gesamten Bedeckungsfläche aufweist, die Filtereffizienz um die Hälfte reduziert. Bei einer Leckagefläche von 2 % nimmt die filternde Wirkung sogar um zwei Drittel ab (Quelle: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02786826.2020.1817846>, abgerufen am 04.12.2020).

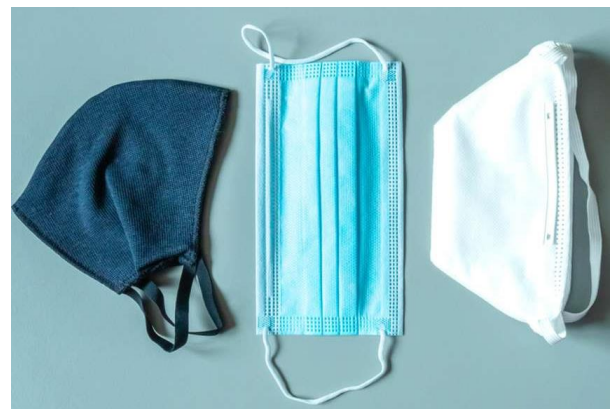


Abbildung 2: Stoffmaske, medizinische Maske und FFP-Maske (v.l.n.r.) haben unterschiedliche Schutzwirkungen

(Bildquelle: <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.schutz-vor-corona-stoff-op-oder-ffp-maske-was-koennen-die-unterschiedlichen-modelle.07e086df-61f3-4a56-a243-c3899164e71f.html>, abgerufen am 04.12.2020)

Es ist deshalb für den Übertragungsweg mittels Aerosolen nicht nachvollziehbar, dass Mund-Nasen-Bedeckungen bis vor kurzer Zeit überhaupt einen Spalt aufweisen konnten. Insbesondere sind beispielsweise Klarsichtmasken aus Kunststoff an Schulen erst seit Inkrafttreten des Rahmenhygieneplans vom 11. Dezember 2020 nach einer Neubewertung des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) den Visieren „quasi

gleichgestellt“ und dürfen nicht mehr als Mund-Nasen-Bedeckung verwendet werden.

Da aber bereits seit einigen Monaten bekannt ist, dass Aerosole Coronaviren übertragen können und ein bayerischer Hersteller von Klarsichtmasken in der Produktbeschreibung stets explizit darauf hingewiesen hatte, dass das Produkt keine Filterwirkung haben und nicht vor luftgetragenen Aerosolen schützen würde, war diese Änderung der Einschätzung des LGL mehr als überfällig.

Was versteht man unter einer mechanischen Lüftung?

Mechanische Lüftungsanlagen können entweder lediglich die Luft aus Räumen mit einem Ventilator abführen (Abluftanlagen) oder zusätzlich die Zuluft über einen weiteren Ventilator fördern (Zu-/Abluftanlagen). Ein Wärmetauscher kann dabei der Abluft Wärme entziehen und diese der Zuluft zuführen (sogenannte Wärmerückgewinnung mit typischen Wirkungsgraden von 80 – 90%), wodurch der Lüftungswärmeverlust eines Gebäudes in der Heizperiode deutlich reduziert wird und ohne weiteren Energieaufwand vorgewärmte Luft in die Räume strömt. Aus energietechnischer Sicht wird die Wärmerückgewinnung umso wichtiger, je besser ein Gebäude gedämmt ist und je höher damit der relative Anteil der Lüftungswärmeverluste ist. Im Passivhaus ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in unserer Klimaregion aus Komfort- aber auch aus Effizienzgründen notwendig. Ohne Wärmerückgewinnung würde sich der Energiebedarf eines Passivhauses für die Heizung verdoppeln.

Können Luftreiniger das Lüften ersetzen?

Raumluftreiniger arbeiten im Umluftbetrieb, d.h. Raumluft wird angesaugt, gereinigt und wieder in den Raum abgegeben. Somit findet keine Zufuhr von frischer Luft statt. Es muss also auf jeden Fall noch zusätzlich gelüftet werden. Das Prinzip der Luftreinigung beruht auf einer aktiven Entfernung von virushaltigen Partikeln mittels hochwertiger Filter, im Gegensatz zur Reduktion der Viruslast durch Verdünnung bei der Lüftungsmethode. Die Filterdekontamination kann z.B. durch eine tägliche Erhitzung erfolgen.

Raumluftreiniger haben auf das aerosolbasierte Infektionsrisiko in dem oben genannte Berechnungsmodell der Technischen Universität Berlin dieselbe Wirkung wie die Zufuhr von Frischluft. Entscheidend für das Ansteckungsrisiko ist ausschließlich die

Menge an virenfreier Zuluft. Auf welche Weise diese dem Raum zugeführt wird, ist infektionstechnisch unerheblich. Der CO₂-Gehalt und damit die Luftqualität wird durch den alleinigen Einsatz von Raumluftreiniger allerdings nicht verändert.

Wie also richtig Lüften?

Lüften, d.h. die Zufuhr von frischer und die Abfuhr von belasteter Luft, ist für den Erhalt der Luftgüte zwingend notwendig. Aber welche Methode ist dafür nun die richtige? Obwohl das Umweltbundesamt die Fensterlüftung als „wirksamsten Weg zu virenarmer Luft“ bezeichnet, lautet die Empfehlung in dem oben genannten Text des Umweltbundesamtes aus dem Jahre 2017: „Nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik und bestätigt durch zahlreiche Messungen und Simulationsberechnungen ist die alleinige Fensterlüftung nicht in der Lage, diese Anforderungen ganzjährig unter Gewährleistung einer angemessenen Temperatur und ohne Zuglufterscheinungen zu erfüllen. Zur Gewährleistung des Gesundheitsschutzes ist es aus Sicht des Arbeitskreises daher notwendig, neben optimal gestalteten Fenstern, eine zusätzliche bedarfsgeregelte technische Lüftung einzuplanen.“



Abbildung 3: Raumluftreiniger TAC M der TROTEC GmbH. (Bildquelle: <https://de.trotec.com/shop/raumluftreiniger-tac-m-in-basaltgrau-schwarz.html>, abgerufen am 04.12.2020)

Für eine dauerhafte gute, zugfrei eingebrachte, vom Außenlärm unabhängige und energieeffiziente Lüftung steht mit der ausgereiften Technologie von Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung eine gute Lösung parat. Auch für die Nachrüstung sind inzwischen Geräte zur direkten Anbringung im Klassenraum verfügbar. Bisher war jedoch an bayerischen Schulen das Thema Lüftung eher von untergeordneter Bedeutung. Österreich und die Schweiz sowie die skandinavischen Länder sind hier deutlich voraus.

Über die Frage, ob nun ausschließlich mit freier bzw. natürlicher Lüftung ganzjährig alle genannten Anforderungen an die Raumluftqualität erfüllt werden können oder nicht, kann vortrefflich gestritten werden. Es sollte bei allen Überlegungen aber nicht unerwähnt bleiben, dass in der Praxis der tatsächliche Luftaustausch durch die händisch bediente Fenster-



Abbildung 4: Schulklassenlüftung aeroschool 600 zur Wand- oder Deckenmontage mit Schalldämpfer und Fassadenelement mit Wanddurchführung von Drexel und Weiss. Aeroschool 600 ist laut Hersteller „das bislang erste und weltweit einzige Schulklassenlüftungsgerät, das den strengen Prüfkriterien des Passivhaus Institut Darmstadt (PHI) entspricht.“ (Bildquelle: <https://www.gaes.it/de/ecosistema/497-2/aeroschool-600>, abgerufen am 09.12.2020)

lüftung in entscheidendem Maße vom Nutzerverhalten bestimmt wird. Es kommt im Alltag häufig vor, dass Fenster versehentlich zu lange aufbleiben oder das regelmäßige Lüften schlicht vergessen wird. Die alternative mechanische Lüftung hat vor diesem Hintergrund auf jeden Fall Ihre Daseinsberechtigung. Dabei haben sich insbesondere in Klassenräumen hybride Lüftungskonzepte am besten bewährt. Die Lüftungsanlage sorgt für gute Luftqualität innerhalb der Unterrichtsstunde. In den Pausen und Stundenwechseln wird zusätzlich über die Fenster gelüftet.

Lüftungsanlagen sind im Übrigen nicht mit Klimaanlage zu verwechseln, welche die Temperatur, den Feuchtegehalt oder die Reinheit der Luft beeinflussen und meist über einen merklichen Umluftanteil verfügen. Sehr schön erfahren kann man den Unterschied beispielsweise im Auto mit laufender Klimaanlage, wenn die Innenluft im Sommer gekühlt und entfeuchtet und nicht einfach nur von außen zugeführt wird. Die hygienischen Anforderungen an solche Systeme sind allerdings wesentlich höher als an eine mechanische Lüftungsanlage, womit auch ein deutlich höherer Wartungsaufwand verbunden ist.

Ein Text von Prof. Dr. Johannes Aschaber und Prof. Dr. Harald Krause (Version vom 18.12.2020)

Beide Autoren sind unter anderem im Studiengang Energie- und Gebäudetechnologie der Technischen Hochschule Rosenheim tätig. Prof. Dr. Krause ist außerdem wissenschaftlicher Leiter des Zentrums Forschung, Entwicklung und Transfer und des Labors für Raumlufttechnik und Raumklimasysteme im roteg.

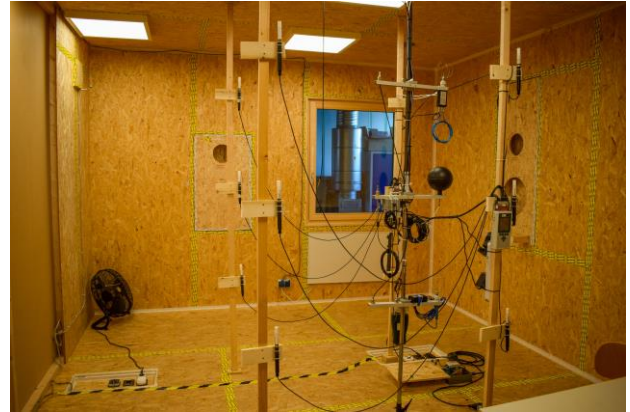


Abbildung 5: Das Rosenheimer Technologiezentrum Energie & Gebäude (roteg) der Technischen Hochschule Rosenheim verfügt über ein Labor für Raumlufttechnik und Raumklimasysteme. Dort werden u.a. an einer Musterwohnung raumlufttechnische Systeme und Raumklimasysteme untersucht. Die Untersuchungen beziehen neben der Luftqualität in Innenräumen auch Themen wie Zuglufterscheinung mit ein. Für Planungen werden oftmals computergestützte Strömungssimulationen in Verbindung mit bauphysikalischen und energietechnischen Simulationen eingesetzt. Die Messtechnik kann auch mobil für Untersuchungen vor Ort eingesetzt werden. Das Foto zeigt einen Messaufbau zur Untersuchung der Luftqualität an verschiedenen Punkten im Raum für unterschiedliche Wohnungslüftungssysteme.

Weitere Information zum roteg unter folgendem Link: <https://www.th-rosenheim.de/die-hochschule/fakultaeten-institute/fakultaet-fuer-angewandte-natur-und-geisteswissenschaften/technologiezentrum-roteg/>

Von guter Luft, CO₂-Ampeln, Masken, Luftreinigern und Lüftungsanlagen in Schulen

ZUSAMMENFASSUNG

Was ist gute Luft?

Der Kohlendioxidanteil in der Raumluft hat sich als guter Indikator für die Qualität der Raumluft erwiesen, die zusätzlich noch von weiteren Ausdünstungen und Schadstoffen unterschiedlichster Art beeinflusst wird. Die CO₂-Konzentration in der Innenraumluft sollte im zeitlichen Mittel möglichst unter 1000 ppm (oder 0,1 %) bleiben. Zum Vergleich: Der Kohlendioxidgehalt in der Außenluft liegt je nach Umgebung bei ca. 400 bis 500 ppm.

Was sind virushaltige Aerosole?

Laut RKI ist „der Hauptübertragungsweg für SARS-CoV-2 die respiratorische Aufnahme virushaltiger Partikel, die beim Atmen, Husten, Sprechen, Singen und Niesen entstehen.“ Während Partikel, die einen Durchmesser größer als 0,1 mm aufweisen, schnell zu Boden sinken, können die sogenannten Aerosole mit einer Größe von weniger als 0,1 mm auch bis zu einigen Stunden in der Luft schweben und sich in geschlossenen Räumen verteilen.

Was empfiehlt das Umweltbundesamt?

Die Luft im Innenraum sollte dreimal pro Stunde vollständig mit Außenluft durch Stoß- oder Querlüftung ersetzt werden, um sich vor infektiösen Partikeln zu schützen.

Wie kann die Luftgüte gemessen werden?

Das kann mit CO₂-Messgeräten oder CO₂-Ampeln geschehen. Beide Systeme signalisieren akustisch und/oder optisch die Notwendigkeit zum Lüften.

Wie hoch ist das Ansteckungsrisiko in Innenräumen?

Für einen typischen Klassenraum liegt bei einem dreifachen Luftwechsel pro Stunde das Risiko sich durch Aerosolübertragung mit COVID-19 anzustecken zwischen gut 20 % (mit OP-Maske) und knapp 50 % ohne Mund-Nasen-Schutz, wenn eine infizierte Person während eines sechsstündigen Schultages anwesend ist. Das korrekte Tragen des Mund-Nasen-Schutzes ist für die Unterbindung der Übertragung durch Aerosole neben ausreichender Frischluftzufuhr von entscheidender Bedeutung.

Was ist beim Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung zu beachten?

Ein möglichst guter umlaufender Sitz ohne Spalt ist für eine effiziente Unterbindung der Aerosolübertragung unerlässlich. Klarsichtmasken lassen virus-haltige Aerosole mit oder ohne kurzzeitige Umlenkung ungehindert in den Luftraum entweichen.

Was versteht man unter einer mechanischen Lüftung?

Mechanische Lüftungsanlagen können entweder lediglich die Luft aus Räumen mit einem Ventilator abführen (Abluftanlagen) oder zusätzlich die Zuluft über einen weiteren Ventilator fördern (Zu-/Abluftanlagen). Durch Wärmerückgewinnung kann dabei der Abluft Wärme entzogen und diese der Zuluft wieder sehr effizient zugeführt werden. Aus energie-technischer Sicht wird die Wärmerückgewinnung umso wichtiger, je besser ein Gebäude gedämmt ist.

Können Luftreiniger das Lüften ersetzen?

Hochwertige Raumluftreiniger sind in der Lage, virus-haltige Partikeln durch Filter aktiv zu entfernen. Die Geräte arbeiten im Umluftbetrieb, d.h. Raumluft wird angesaugt, gereinigt und wieder in den Raum abgegeben. Der CO₂-Gehalt und damit die Luftqualität wird durch den alleinigen Einsatz von Raumluftreiniger allerdings nicht verändert.

Wie also richtig Lüften?

Die händisch bediente Fensterlüftung wird in entscheidendem Maße vom Nutzerverhalten bestimmt. Es kommt dabei sehr häufig vor, dass Fenster versehentlich zu lange aufbleiben oder das regelmäßige Lüften schlicht vergessen wird.

Eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gilt als technisch ausgereift und sorgt für eine dauerhafte gute, zugfrei eingebrachte, vom Außenlärm unabhängige und energieeffiziente Lüftung. Auch für die Nachrüstung sind inzwischen Geräte zur direkten Anbringung im Klassenraum verfügbar.

In der Praxis haben sich insbesondere in Klassenräumen hybride Lüftungskonzepte am besten bewährt. Die Lüftungsanlage sorgt für gute Luftqualität innerhalb der Unterrichtsstunde. In den Pausen und Stundenwechseln wird zusätzlich über die Fenster gelüftet.

Autoren: Prof. Dr. Johannes Aschaber und Prof. Dr. Harald Krause, Studiengang Energie- und Gebäudetechnologie, Technische Hochschule Rosenheim (Version vom 18.12.2020)