

Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Bildungseinrichtungen

Positionspapier des Arbeitskreises Innenraumluft

Wien, 2023

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Mitglieder des Arbeitskreises Innenraumluft im BMK;

Weitere Expertinnen und Experten (in alphabetischer Reihenfolge):

Mst. Friedrich Althuber (Allg. beeideter und gerichtlich zert. Sachverständiger),

DI Andreas Greml (komfortlüftung.at), DI Andreas Weber-Legath

(Bundesimmobiliengesellschaft BIG), DI Claudia Schmöger (IBO Innenraumanalytik OG
IMB), DI Felix Twrdik (IMB)

Gesamtumsetzung: DI Peter Tappler

Wien, 2023. Stand: 12. Dezember 2023

Hinweis:

Das Positionspapier wurde erstmals im Jahre 2020 als nunmehr zurückgezogenes
„Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2“
veröffentlicht.

Vorwort

Die vorliegende Publikation basiert auf dem „Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Gebäuden“ sowie dem nunmehr zurückgezogenen „Positionspapier zur Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen – SARS-CoV-2“.

Positionspapiere des Arbeitskreises Innenraumluft im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie werden zu aktuellen Themen im Bereich Innenraumklimatologie und -toxikologie ausgearbeitet und stellen das jeweilige Thema kurz und leicht aktualisierbar dar. Sie werden von Fachleuten der Umwelthygiene der Medizinischen Universität Wien, der Bundesländer, der AUVA und Messtechnik sowie aus Forschungseinrichtungen des Bundes (Umweltbundesamt) und privater Institutionen erstellt und richten sich in erster Linie an Fachleute, aber auch an interessierte Laien, an Behörden, an den Öffentlichen Gesundheitsdienst sowie an Personen aus den einschlägigen Gewerbebereichen.

Der Arbeitskreis Innenraumluft im BMK erstellt und veröffentlicht unterschiedliche Typen von Dokumenten: Die einzelnen Teile der „Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft“ werden unter Mitwirkung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften erstellt und definieren Richt- und Referenzkonzentrationen für häufig auftretende Schadstoffe in Innenräumen. Beim „Wegweiser für eine gesunde Raumluft“ handelt es sich um eine Konsumentenbroschüre, in der in leicht verständlicher Form Empfehlungen zum Thema „Innenraumluft“ gegeben werden. Zu einzelnen Themen werden Positionspapiere veröffentlicht, die gegebenenfalls durch Leitfäden ergänzt werden, in denen in umfangreicherer Form Informationen bereitgestellt werden.

Die Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, aber auch Leitfäden und Positionspapiere legen prinzipielle Vorgangsweisen für Expertinnen und Experten fest und schneiden offene Fachfragen an. Sie spiegeln die Fachmeinung der im Arbeitskreis vertretenen Fachleute (Umwelthygiene, Messtechnik, Verwaltung usw.) zu einem aktuellen Problemkreis im Themenbereich „Innenraumluft“ wider. Sie haben normativen Charakter und können gegebenenfalls nach einer Evaluierung auch erneut bearbeitet werden.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung sind erschienen:

- Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (mehrere Teile)
- Leitfaden Gerüche in Innenräumen
- Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden („Schimmelleitfaden“)
- Leitfaden zur technischen Bauteiltrocknung
- Positionspapier zu Luftströmungen in Gebäuden
- Positionspapier zu Schimmel in Innenräumen
- Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Gebäuden
- Positionspapier zu Formaldehyd in Saunaanlagen
- Positionspapier zu technischer Bauteiltrocknung
- Positionspapier zu Verbrennungsprozessen und Feuerstellen in Innenräumen
- Positionspapier zur Sanierung von Schimmelbefall nach Wasserschäden in Krankenanstalten
- Positionspapier zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft
- Positionspapier zur Bewertung von Innenräumen in Hinblick auf das Infektionsrisiko durch SARS-CoV-2
- Positionspapier zur Beurteilung der maschinellen Kühlung von Innenräumen in Hinblick auf SARS-CoV-2
- Positionspapier zu Auswirkungen energiesparender Maßnahmen auf die Innenraumluft
- Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Bildungseinrichtungen
- Wegweiser für eine gesunde Raumluft
- Corona-Rechner VIR-SIM: Tool zur Berechnung des Infektionsrisikos durch SARS-CoV-2 über Aerosolpartikel in Innenräumen: corona-rechner.at
- Lüftungsrechner CO2-SIM, verfügbar unter raumluft.org

Die Publikationen sind – wenn nicht anders angegeben – auf der Website des BMK zum Download verfügbar: bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/luft/innenraum.html

Positionspapier zu Lüftungserfordernissen in Bildungseinrichtungen

Der Arbeitskreis Innenraumluft spricht in Bezug auf Lüftungserfordernisse in Bildungseinrichtungen (Schul- und Unterrichtsräume, Kindergärten etc.) folgende allgemeingültige Empfehlungen aus, die sich am Stand der Technik orientieren. Die angeführten Punkte stellen nur einen Teil der – für eine fachgerechte Planung und Errichtung bzw. einen hygienischen Betrieb von Lüftungseinrichtungen einer Bildungseinrichtung – erforderlichen Maßnahmen dar, weshalb auch auf die einschlägigen Regelwerke verwiesen wird.

Die Lüftung in dicht belegten Bildungseinrichtungen ist schon seit vielen Jahren ein mitunter kontroversiell diskutiertes Thema. Effektives und erfolgreiches Lernen hängt insbesondere von der Qualität und Menge der zur Verfügung gestellten gesundheitlich zuträglichen Außenluft ab. Zahlreiche Studien zeigen, dass mit zunehmendem Frischluftvolumen die Leistungsfähigkeit ansteigt und auch die Zahl der mit der Raumluft zufriedenen Personen signifikant zunimmt. Bei abnehmender Konzentration an CO₂, einer Substanz, die in Innenräumen einen Indikator für den Grad der durch die Raumnutzer „verbrauchten“ Luft darstellt, sinkt das Risiko an Beschwerden des Sick-Building-Syndroms zu erkranken und auch das Infektionsrisiko durch Krankheitskeime wie Viren (bspw. SARS-CoV-2) und Bakterien nimmt deutlich ab (Müller et al. 2022; Buonanno et al. 2022).

Eine möglichst wirkungsvolle Fensterlüftung, auch „freie“ oder „natürliche“ Lüftung genannt, ist oftmals bei bestehenden Gebäuden eine wichtige Maßnahme, um hygienisch einwandfreie Raumluft zu erreichen. Intensiv genutzte Schul- und Unterrichtsräume oder ähnliche Einrichtungen wie Kindergärten lassen sich aber in der Regel nicht ganzjährig alleine durch Fensterlüftung, gleich ob manuell oder über automatisiert motorbetriebene Fensterflügel, so belüften, dass sowohl die gewünschten Konditionen der thermischen Behaglichkeit als auch der Hygiene und Luftqualität eingehalten werden können.

Messungen der CO₂-Konzentration in Klassen- und Vortragsräumen sowie Modellberechnungen zeigen, dass alleine durch Fensterlüftung vor allem in der kalten Jahreszeit, aber auch bei Räumen an dicht befahrenen Straßen, die aufgrund von Straßenlärm nicht dauerhaft gelüftet werden können, eine ausreichende Frischluftzufuhr nicht gewährleistet werden kann. Die hygienischen Mindestvoraussetzungen laut den Anforderungen der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft in Hinblick auf den Lüftungsparameter CO₂ des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)¹ sind in diesen Fällen nicht erfüllt. In zahlreichen Schulklassen ist zudem das Öffnen der Fenster in den Pausen aus organisatorischen Gründen (hier werden auch häufig „Sicherheitsgründe“ genannt) praktisch nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.

Bei hinsichtlich des Parameters CO₂ ausreichender Lüftung ist in der Regel davon auszugehen, dass anthropogen (von Menschen) erzeugte Luftinhaltsstoffe und Gerüche, Krankheitskeime, Schadstoffe aus Baumaterialien, Einrichtungs- und Gebrauchsgegenständen sowie aus dem Erdreich (Radon) effizient abgeführt werden. Bei Neu- und Umbau von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung wie bspw. Vortragsräumen ist daher – wie die Praxis zeigt – der Einbau und Betrieb von Lüftungstechnischen Anlagen zur Gewährleistung eines gesunden, hygienisch einwandfreien und die Leistung fördernden Raumklimas als zusätzliche Möglichkeit der Lüftung erforderlich (z. B. mit zusätzlicher Fensterlüftung in den Pausen – Hybridlüftung). Die Notwendigkeit von Lüftungstechnischen Anlagen für derartige Innenräume leitet sich für den Neubau und sinngemäß auch für Umbauten aus den Vorgaben der gesetzlichen bautechnischen Regelungen der Länder ab.

In der OIB-Richtlinie als Basis der landesgesetzlichen bautechnischen Regelungen und im Speziellen der Teil 3, Punkt 10.1.1 ist eine zentrale Anforderung für die Lüftung von Innenräumen angeführt: *„Aufenthaltsräume und Sanitärräume müssen durch unmittelbar ins Freie führende Fenster, Türen und dergleichen ausreichend gelüftet werden können“* (OIB 2023). Diese Anforderung, die zum Teil wortgleich in die bautechnischen Regelungen der Länder übernommen wurde, muss aus hygienischer Sicht dahingehend präzisiert werden, dass eine ausreichende Lüftung von Aufenthaltsräumen und Sanitärräumen in Schul- und Unterrichtsgebäuden dann gegeben ist, wenn die Vorgaben der Richtlinie zur

¹ BMK (2023): Richtwerte zur Bewertung der Innenraumluft – CO₂ als Lüftungsparameter.

Bewertung der Innenraumluft des BMK in Hinblick auf den Lüftungs- und Hygieneparameter CO₂ über den gesamten Beurteilungszeitraum erfüllt werden.

In den Vorgaben des Richtlinienpapiers zu CO₂ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMK werden unterschiedliche Raumklassen definiert. Für die Raumluftqualität sind in der Raumklasse A (Räume, in denen geistig gearbeitet wird, dies sind bspw. Unterrichtsräume, Kindergarten-Gruppenräume, Hörsäle, offene Lernzonen, Mehrzweckräume, Bibliotheken, Arbeitsbereiche für Lehrende) 1.000 ppm als arithmetischer Mittelwert über den jeweiligen Beurteilungszeitraum (meist eine Stunde) einzuhalten. Für die Raumklasse B (sonstige Innenräume, dies sind z. B. Speisebereiche, Aulen, Homebases, Sozialbereiche für Lehrende) ist der Wert von 1.400 ppm als arithmetischer Mittelwert einzuhalten, Turnsäle und Sporträume fallen ebenfalls in die Raumklasse B. Für Nebenräume (Raumklasse C) liegt der Richtwert bei kleiner/gleich 5.000 ppm.

In Tabelle 1 werden die Vorgaben der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMK in Hinblick auf den Lüftungs- und Hygieneparameter CO₂ zusammengefasst:

Tabelle 1 Vorgaben der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft des BMK in Hinblick auf CO₂

Raumklasse	Beschreibung	Arithmetischer Mittelwert der Momentanwerte für CO ₂ [ppm]
Klasse A+	Zielwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen	≤ 800
Klasse A	Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen, in denen geistige Tätigkeiten verrichtet werden bzw. die zur Regeneration dienen	≤ 1.000
Klasse B	Richtwert für Innenräume für den dauerhaften Aufenthalt von Personen mit Ausnahme von Räumen der Klasse A	≤ 1.400
Klasse C	Richtwert für Innenräume mit geringer Nutzungsdauer durch Personen	≤ 5.000
Außerhalb der Klassen	Für die Nutzung durch Personen nicht akzeptabel	> 5.000

1 Allgemeine Lüftungserfordernisse

Aufgrund der Tatsache, dass in Räumen von Bildungseinrichtungen meist eine hohe Personendichte gegeben ist und auch gesteigerte Ansprüche an die geistige Leistungsfähigkeit und die Gesundheit bestehen, wurde dem Thema Raumluftqualität in Schulen, Universitäten etc. in der jüngsten Vergangenheit großes Augenmerk gewidmet. Diese Situation ist allerdings kein neuartiges Problem. Schon der bekannte Hygieniker Max von Pettenkofer ging im Jahre 1858 auf das Thema CO₂ als Lüftungsparameter ein: „Ich bin auf das Lebendigste überzeugt, dass wir die Gesundheit unserer Jugend wesentlich stärken würden, wenn wir in den Schulräumen die Luft stets so gut und rein erhalten würden, dass der Kohlensäuregehalt nie über ein Promille (1.000 ppm) anwachsen könnte“ (Pettenkofer 1858).

In Versammlungsräumen, Lehrsälen und Klassenzimmern mit einer hohen Belegung steigt ohne raumlufttechnische Anlagen die CO₂-Konzentration im Lauf der Zeit an und kann Konzentrationen bis zum Mehrfachen des Richtwertes von 1.000 ppm (die sogenannte Pettenkofer-Zahl) erreichen. In neuen oder renovierten Schulen wurden aus an sich sinnvollen Energiespargründen sehr dichte Fenster eingebaut, bei denen der Infiltrationsluftwechsel weit unter 0,05 h⁻¹ liegt. Bei derart dichten Fenstern ist das zugeführte Außenluftvolumen über Fugenlüftung vernachlässigbar gering, passive Lüftungsöffnungen bringen hier wenig Verbesserung. Fenster können oder dürfen aus Sicherheitsgründen oftmals in den Pausen nicht geöffnet werden. Es ergeben sich dadurch bei durchschnittlicher Belegung der Räume deutlich erhöhte CO₂-Konzentrationen. Die Problematik betrifft sowohl Schulen in der Stadt, als auch in ländlichen Gegenden.

Unter ungünstigen Umständen werden in der Praxis Konzentrationen bis zum Bereich des MAK-Wertes² (5.000 ppm) erreicht und überschritten, was zu signifikanten Leistungsverlusten und einer Erhöhung des Risikos einer Infektion durch pathogene Luftkeime führt. Eine Auswahl der Vielzahl an mittlerweile durchgeführten Studien zur Konzentration an CO₂ in Bildungseinrichtungen findet man im österreichischen

² MAK-Wert = Maximale Arbeitsplatzkonzentration laut Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und fortpflanzungsgefährdende (reproduktionstoxische) Arbeitsstoffe (GKV 2021)

Richtwertepapier zu CO₂ als Lüftungsparameter des BMK. Eine Übersicht über Arbeiten zu Raumluft in Schulen findet sich in Salthammer et al. (2016).

Die Luftqualität kann durch Verdünnung und Abfuhr entsprechender Schadstoffe und anderer Raumluftinhaltsstoffe sichergestellt werden (Birmili et al. 2021). Dies gilt sowohl für anthropogene Luftverunreinigungen als auch für respiratorische Infektionserreger, die in Räumen hauptsächlich durch Aerosolpartikel übertragen werden. Zur Verdünnung und Abfuhr von schädlichen Luftverunreinigungen aus der Innenraumluft sind prinzipiell drei verschiedene Systeme möglich:

- Fensterlüftung
- Abluftanlagen (ventilatorunterstützte Fensterlüftung)
- Zentrale oder dezentrale raumlufttechnische (RLT) Anlagen mit Wärmerückgewinnung

Bei Neu- und Umbau von Schul- und Unterrichtsräumen ist, um die Vorgaben des Richtlinienpapiers zu CO₂ der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft und damit der jeweiligen bautechnischen Regelungen der Länder zu erfüllen, in jedem Fall ein Lüftungskonzept erforderlich, aus dem sich die Art der zu planenden und auszuführenden Lüftung für die jeweilige Raumklasse ergibt. Die Einhaltung der geforderten CO₂-Werte ist durch geeignete Simulationsprogramme raumweise nachzuweisen (ÖISS 2023). Dieser Nachweis erfolgt in der Regel mittels Rechenprogrammen für CO₂ unter Voraussetzung einer zumutbaren und realistischen Fensterlüftungsfrequenz (nicht unter 50 Minuten = eine Schulstunde) (Rojas et al. 2023; CO₂-SIM 2023). Anhand dieser Werte sind Vergleiche unterschiedlicher Lüftungsstrategien durchzuführen.

Bei der Nachrüstung mit RLT-Anlagen ist in Hinblick auf die Bewertung des Energieeinsatzes zu beachten, dass Gegenüberstellungen nur über die gleiche Raumluftqualität (gleiche Außenluftzufuhr) verwertbare und sinnvolle Ergebnisse liefern. Der Vergleich mit Bestandsdaten, die auf einer in der Regel geringeren Außenluftzufuhr durch manuelle Fensterlüftung beruhen, ist nicht zielführend (ÖISS 2023).

In dicht belegten Schul- und Unterrichtsräumen ist es nicht möglich bzw. zu wenig effizient, allein über Fensterlüftung zu einer befriedigenden Raumluftqualität zu gelangen. In solchen Fällen sind aus raumlufthygienischen Gesichtspunkten und aus Klimaschutzgründen mechanische Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung erforderlich. Es sollte jedoch auch eine zusätzliche Fensterlüftung möglich sein (am besten Stoß- und Querlüftung), einerseits aus psychologischen Gründen und andererseits um

insbesondere in der Übergangszeit bzw. im Sommer eine zusätzliche Lüftung zur weiteren Verbesserung der Luftqualität bzw. Verminderung von Überwärmung zu ermöglichen. Die Planung für Lüftungstechnische Anlagen bei Räumen, bei denen die Fenster nicht geöffnet werden können oder die durch externe Geräuschquellen unzumutbar beeinträchtigt werden (bspw. Verkehrslärm), muss in Hinblick auf die erforderlichen Luftvolumenströme ohne Berücksichtigung der Fensterlüftung erfolgen. Hinweis: Die Vorgaben der zuzuführenden Luftvolumina in der ÖNORM H 6039³ beziehen sich auf den Winterfall. Im Sommerfall ist aufgrund höherer Temperaturen das Geruchsempfinden der Menschen anders und kann höhere zuzuführende Luftvolumina oder eine Kühlung und Entfeuchtung bedingen, um eine ausreichende Zufriedenheit zu erreichen.

Um in Schul- und Unterrichtsräumen auf das hygienisch erforderliche Außenluftvolumen aufmerksam zu machen bzw. gegebenenfalls die Lüftung zu intensivieren, können Messeinrichtungen zur Messung und Darstellung der CO₂-Konzentrationen (sogenannte „Lüftungs- oder CO₂-Ampeln“) eingesetzt werden. Zu einer aussagekräftigen Messung geeignet sind derzeit ausschließlich hochwertige CO₂-Sensoren auf Basis nichtdispersiver Infrarotspektroskopie (NDIR).

Im Folgenden werden unterschiedliche Möglichkeiten der Lüftung von Schul- und Unterrichtsräumen mit den wichtigsten Vor- und Nachteilen im Detail erörtert. Zur Beurteilung der unterschiedlichen Lüftungsmöglichkeiten können auch der Leitfaden „Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden Teil I: Bildungseinrichtungen“ des deutschen Umweltbundesamtes (2017), die Website komfortlüftung.at sowie die Publikation „Lüftung unter Pandemiebedingungen, insbesondere zu Schulen und vergleichbaren Räumen“ (Arbeitskreis Klimatechnik 2022) herangezogen werden.

Da bei Neu- oder Umbau von Schul- und Unterrichtsräumen eine raumlufttechnische Anlage mit Wärme- und Feuchterückgewinnung empfohlen wird, wird auf die Ausführung derartiger Anlagen detaillierter eingegangen. Da zusätzlich auch Fensterlüftung wichtig und erwünscht ist, werden auch dafür Empfehlungen formuliert.

Auf das umfassende Thema „Klimaanlagen“ mit der Möglichkeit der Befeuchtung im Winter sowie Kühlung und Entfeuchtung im Sommer wird – obwohl dieses Thema in

³ ÖNORM H 6039. Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung - Anforderungen, Dimensionierung, Ausführung, Betrieb und Wartung. 2023 02 01

Zukunft aufgrund der Erderwärmung eine immer wichtigere Rolle spielen wird – im Rahmen der gegenständlichen Publikation nicht eingegangen, da Klimaanlage in Schul- und Unterrichtsräumen derzeit nur selten und wenn, dann für bestimmte Bereiche eingesetzt werden. Auch das Thema „Schall“ wird nur peripher behandelt, Vorgaben dazu in Bezug auf Lüftungsanlagen findet man in der OIB-Richtlinie 5 (2023).

Bei Einsatz von Wärmepumpen zur Bereitstellung der erforderlichen Energie für die Vorwärmung der Außenluft im Winterbetrieb kann mit relativ geringem Aufwand im reversiblen Betrieb der Wärmepumpe eine Entwärmung/Kühlung der Außenluft im Sommerbetrieb bewerkstelligt werden. In Kombination mit einer PV-Anlage kann diese Entwärmung/Kühlung der Außenluft in vielen Fällen ohne zusätzliche Betriebskosten bewerkstelligt werden. Konkrete Werte für die Senkung der Zulufttemperatur hängen von den realisierten Luftvolumenströmen und der Energiequelle ab und sind im Einzelfall zu berechnen.

Das Thema Lüftung unter Pandemiebedingungen, wie dies in der vergangenen Corona-Pandemie zu einem zentralen Thema wurde, wird kurz in der Beurteilung der einzelnen Lüftungsmöglichkeiten behandelt. Es ist aber zu beachten, dass sich die unterschiedlichen Lüftungssysteme auch in Bezug auf die Prävention gegenüber anderen Krankheitserregern, die vor allem in der kalten Jahreszeit auftreten wie bspw. Erkältungs- und Grippeviren, in Hinblick auf ihre Anwendbarkeit im Schulalltag deutlich voneinander unterscheiden.

Auf mobile und stationäre Raumlufthereinigungsgeräte wird nicht eingegangen, da diese bei ausreichender Lüftung der Räume – außer eventuell in speziellen Situationen – nach übereinstimmender Expertenmeinung nicht erforderlich sind.

Mehr Details zu den Punkten „Lüftung unter Pandemiebedingungen“ und „Raumlufthereinigungsgeräte“ findet man unter anderem im „Positionspapier zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft“⁴.

⁴ BMK (2022): Positionspapier zu Lüftungsunterstützenden Maßnahmen zur Infektionsprophylaxe – Einsatz von Luftreinigern und Einbringung von Wirkstoffen in die Innenraumluft

2 Natürliche Lüftung, Fensterlüftung

Vor allem in der warmen Jahreszeit und in der Übergangszeit kann es möglich sein, den notwendigen Luftaustausch in den Schul- und Unterrichtsräumen durch „natürliche Lüftung“ sicherzustellen. Der Begriff „natürliche Lüftung“ umfasst Fensterlüftung sowie z. B. auch Abluftöffnungen mit Zuströmöffnungen, sofern diese ausreichend dimensioniert sind (OIB 2023). Auch bei Vorhandensein einer mechanischen Lüftungsanlage ist es erforderlich, Fenster so weit als möglich offenbar zu planen und auszuführen. In der kälteren Jahreszeit ist die Raumluft in Schulklassen bei Vollbelegung nach etwa 20 Minuten als hygienisch inakzeptabel anzusehen, es müsste über mehrere Minuten gelüftet werden. An heißen Tagen kann die Wärmelast allerdings je nach Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur im Innenraum durch Fensterlüften weiter erhöht werden und somit ein behagliches Raumklima gefährden bzw. unmöglich machen.

Aus hygienischer Sicht wären wesentlich längere und zahlreichere Lüftungsphasen, als in der gelebten Praxis verwirklicht, erforderlich. In den meisten Fällen wird nur unzureichend über Fenster gelüftet, in nicht seltenen Fällen erfolgt praktisch keine Lüftung über ausreichend weit geöffnete Fenster. Bestenfalls erfolgt eine Pausenlüftung nach jeweils einer Unterrichtsstunde – die CO₂-Konzentration liegt dann bei inakzeptabel hohen Werten (z. B. Hohenblum et al. 2008, Knaus et al. 2017).

Langjährige Erfahrungen bezüglich des Nutzerverhaltens haben gezeigt, dass in Bildungseinrichtungen zahlreiche Faktoren, wie mangelnde Sensibilisierung bzw. Aufmerksamkeit für das Thema, (teilweise subjektiv empfundene) Aufsichts-, Haftungs- und Sicherheitsfragen sowie Komfortverlust in Folge des Kälteeintrags der Etablierung eines entsprechend konsequenten Lüftungsverhaltens im Schulalltag entgegenstehen (ÖISS 2023). Sicher auch ein Grund ist die olfaktorische Sensibilität des Menschen. Man gewöhnt sich sehr schnell an schlechte Luftqualität und nimmt die Verunreinigung nicht mehr sensorisch wahr. Die gelebte Praxis zeigte vor allem in Pandemiezeiten, dass ausreichende Fensterlüftung aus verschiedenen Gründen schwer umsetzbar ist. Oftmals ist infolge nicht offenbarer Fensterflügel oder verstellter Fensterbretter vor allem in Grundschulen eine ausreichende und effiziente Fensterlüftung gar nicht möglich. Auch ungeklärte oder nicht definierte Aufsichtserfordernisse führen oftmals dazu, dass das notwendige völlige Öffnen der Fensterflügel mit Stoßlüftung nicht erfolgt.

Aufgrund der Covid-19-Pandemie kann von einem verbesserten Informationsstand und einer erhöhten Aufmerksamkeit dieser Anforderung gegenüber ausgegangen werden. Dennoch stellt der Komfort- und Energieverlust in der kalten Jahreszeit bei einer hohen Lüftungsfrequenz der Fenster eine zu beachtende Problemlage dar (ÖISS 2023). Dem Vorteil theoretisch geringerer Infektionsraten steht in solchen Fällen das Risiko, sich zu erkälten, gegenüber. Es kann daher aufgrund der umfangreichen praktischen Erfahrungen als gesichertes Wissen gelten, dass mit Fensterlüftung alleine vor allem in der kalten Jahreszeit eine ausreichende Frischluftzufuhr nur unter erhöhtem Energieeinsatz und unter Inkaufnahme von im praktischen Schulbetrieb wenig akzeptablen Komfortverlusten realisierbar ist.

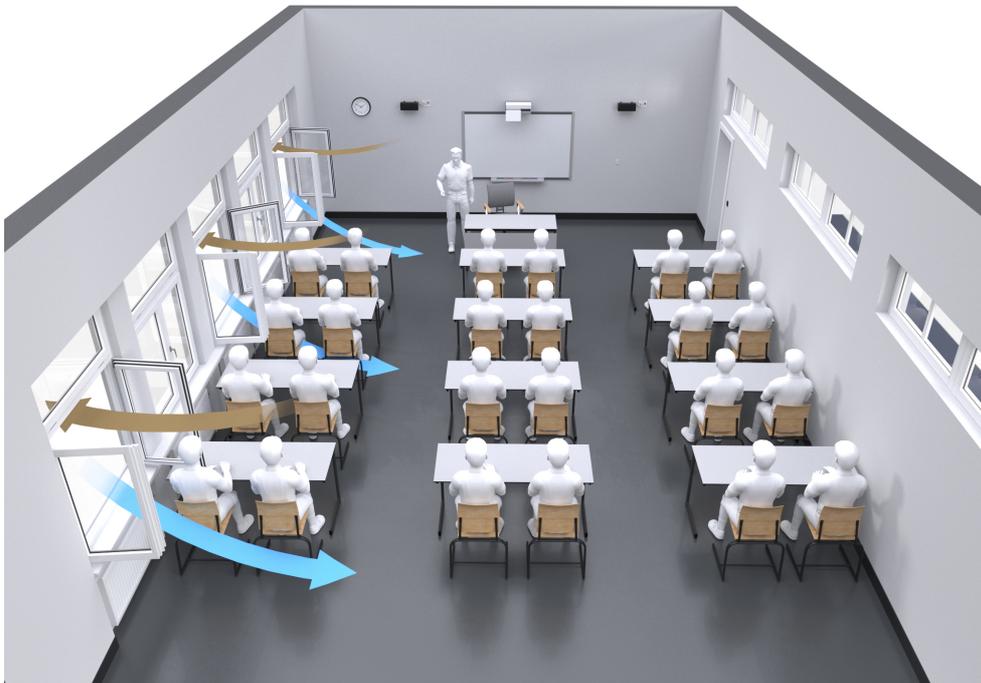
In jedem Fall müssen in die Betrachtung die Anordnung und Ausführung der Fenster sowie Lüftungsanweisungen miteinbezogen werden. Bei der Konfiguration und Ausstattung der Fenster ist in Hinblick auf eine Optimierung des Luftwechsels auf zugriffsgünstig positionierte Lüftungsflügel in ausreichender Anzahl und Größe sowie auf Möglichkeiten zur Querdurchlüftung (unter Beachtung akustischer und brandschutztechnischer Anforderungen) zu achten. Bei Fensterkonstruktionen sollte die Möglichkeit der Dauerlüftung gegeben sein, dabei ist etwa in Schulklassen das Hineinragen der Flügel in den Sitz- und Gehbereich zu vermeiden. Fensterbänke sollten grundsätzlich nicht mit Gegenständen verstellt werden, sodass die uneingeschränkte Öffnung möglich ist. Die Breite der Lüftungsflügel ist auf Stabilität und langjährige Funktionstüchtigkeit auszurichten. Der Einsatz von Lüftungsampeln (CO₂-Ampeln) ist in Räumen mit manueller Fensterlüftung jedenfalls empfehlenswert, um das Bewusstsein für eine gute Raumluftqualität zu stärken.

Automatisierte, meist über die CO₂-Konzentration geregelte Fensterlüftungssysteme werden klassischerweise für Dachflächenfenster, aber auch in den Fenstergriff integriert angeboten und sind in gewissen Anwendungsbereichen (bspw. im Dachbereich privater Wohngebäude) als praktikable Lösungen anzusehen. Bei Überschreiten eines Schwellenwertes öffnen sich die Fenster automatisch, bei starkem Wind und Niederschlägen wird das Fenster geschlossen gehalten. Vor- und Nachteile dieser mechanischen Systeme, die einen nicht zu unterschätzenden Investitions-, Regel- und Wartungsaufwand besitzen, unterscheiden sich in den meisten Punkten sinngemäß wenig von reiner natürlicher Lüftung. Auch vollständig automatisierte Fensterlüftungssysteme, welche auf einen bestimmten CO₂-Gehalt der Raumluft hin regeln, stoßen erfahrungsgemäß aufgrund unterschiedlicher Witterungsbedingungen regelmäßig an ihre Grenzen. So kommt es über den Tagesverlauf bei automatisiert gekippten Fensterflügeln

zu einer immer höheren CO₂-Konzentration, da die Pausenlüftung, in welcher die Fensterflügel nach Möglichkeit vollständig geöffnet werden, aufgrund kurzer Pausendauern nicht zu einer ausreichenden Absenkung des CO₂-Konzentration im Raum führen kann. Während dieser Pausenlüftungen kommt es zwar zu einer Reduktion des CO₂-Gehaltes der Raumluft, gleichzeitig aber im Winterfall zu einem Temperaturabfall und im Sommerfall zu einer Temperaturerhöhung im Raum, was wiederum zu lokaler Unbehaglichkeit führen kann. In manchen Situationen kann es durch den automatisierten Betrieb auch zu Fehlfunktionen kommen. Bei automatisierten Systemen ist insbesondere auch auf einen ausreichenden Schutz gegen das Einklemmen von Gliedmaßen Rücksicht zu nehmen. Viele Hersteller bieten zwar entsprechende Schutzsysteme an, diese aber erhöhen wiederum den Investitions- und Wartungsaufwand.

Ein weiteres Missverständnis besteht in Hinblick auf passive Lüftungsöffnungen in Fensterkonstruktionen. Derartige Öffnungen erhöhen zwar geringfügig den Grundluftwechsel, können aber das notwendige Luftvolumen nicht ansatzweise bereit stellen. In der kalten Jahreszeit erhöhen Sie infolge fehlender Wärmerückgewinnung den Energiebedarf.

Abbildung 1 Schema der Fensterlüftung, Bild: Kampmann GmbH & Co. KG



Vorteile von Fensterlüftung

- Fenster sind eine günstige Maßnahme zur Lüftung, da sie bereits eingebaut sind und ohne weitere Investitionen sofort genutzt werden können.
- Da die Außenluft im Winter kühler als die Raumluft ist, kann in diesem Fall die thermische Auftriebsströmung im Raum meist zur Unterstützung der Lüftung genutzt werden (Quellluftprinzip).
- Fenster sind leicht zu betätigen, dadurch ist die Nutzerakzeptanz hoch.
- Bei geöffneten Fenstern haben die Temperaturdifferenz zwischen außen und innen, vorherrschende Windgeschwindigkeiten sowie die Windrichtung Einfluss auf den Lüftungseffekt, was bei hohen Wärmelasten im Innenraum und kühlerer (nicht zu kalter) Außenluft zum Gefühl der „frischen Luft“ führt.
- Bei automatisierten Fensterlüftungssystemen können unterschiedliche Bedingungen berücksichtigt werden, welche die Raumluftqualität positiv beeinflussen.

Nachteile von Fensterlüftung

- Zur Einhaltung der Mindestluftqualität wäre regelmäßiges Öffnen und Schließen der Fenster während der Unterrichtsstunden (Lüftungsphasen von mindestens 5 Minuten etwa alle 20 Minuten bei üblich belegten Klassenräumen) erforderlich, um für die notwendigen Außenluftvolumina zu sorgen. Dies sorgt für Unruhe im Raum und ist in der kalten Jahreszeit in der Praxis als Dauerlösung unzumutbar.
- Manuelle Fensterlüftung erfolgt nur durch aktive Betätigung des Nutzers. Der Mensch passt sich schnell an eine schlechte Luftqualität an und bemerkt dann nicht mehr, dass gelüftet werden soll. Zu seltenes Öffnen von Fenstern führt zu schlechter Raumluftqualität, erhöhten CO₂-Werten und signifikanten Leistungseinbußen bei Schülerinnen und Schülern, Studierenden und Lehrenden.
- Die Fensterlüftung ist von der Temperaturdifferenz zwischen außen und innen sowie von Windgeschwindigkeit und Windrichtung abhängig, je nachdem wird der Außenluftwechsel hoch oder niedrig ausfallen. Die jahreszeitlich bedingten erforderlichen Außenluftvolumenströme lassen sich nicht gezielt einstellen. Vor allem in der Sommerzeit kann trotz permanent gekippter Fenster zu wenig Luftaustausch stattfinden, was überhöhte CO₂-Werte in den Klassenzimmern bewirkt.
- Der Komfort im Raum kann bei geöffneten Fenstern deutlich negativ beeinflusst werden, da thermisch unbehagliche Zustände bei großen Temperaturunterschieden (im Sommer und Winter) auftreten können.

- Fensterlüftung arbeitet ohne Luftfilter. Dadurch kann sich im Vergleich zum Einsatz einer RLT-Anlage mit Außenluftfilterung eine deutlich höhere Feinstaub- und Pollenbelastung im Raum/Gebäude ergeben, dies gilt auch an nicht urbanen, ländlichen Standorten.
- Eine gezielte Luftherwärmung/-kühlung kann mit der Fensterlüftung nicht realisiert werden. Die Temperierung der einströmenden Außenluft muss mit üblichen Heiz- oder Kühleinrichtungen im Raum erfolgen. Bei sehr warmen Außentemperaturen erfolgt keine Kühlung der einströmenden Außenluft.
- Eine Wärmerückgewinnung ist mit Fensterlüftung nicht möglich. Energetisch und ökologisch gesehen ist daher die reine Fensterlüftung negativ zu bewerten, da die Lüftungswärmeverluste in der kalten Jahreszeit hoch sind.
- In der kalten Jahreszeit kann es aufgrund des Fehlens bzw. der Unmöglichkeit einer Feuchterückgewinnung zu unphysiologisch niedrigen relativen Feuchtwerten (< 30 % relative Luftfeuchte) kommen, dies vor allen bei zugeführten Luftvolumina, die die Einhaltung des Richtwertes von 1.000 ppm als arithmetisches Mittel über den Verlauf der Unterrichtsstunde ermöglichen.
- Das Risiko einer Infektion durch luftgetragene Krankheitskeime (vor allem Viren wie bspw. Corona-, Erkältungs- oder Grippeviren) sinkt stark mit den zugeführten Luftvolumina (Müller et al. 2020). Bei ausschließlicher Fensterlüftung ist eine über den gesamten Zeitraum gesicherte, geringere Wahrscheinlichkeit einer Infektion nur dann gegeben, wenn bei üblicher Klassenbelegung die Fenster in unzumutbar geringen Intervallen (etwa alle 20 Minuten für mindestens 5 Minuten) geöffnet werden. Im Winter ist dies mit Komforteinbußen, erhöhtem Energieverbrauch und Risiken, sich zu erkälten, verbunden.
- Bei geöffnetem Fenster können – vor allem im urbanen Bereich – Schallprobleme durch Schallquellen im Außenbereich (Verkehr, Sportplatz, Passanten etc.) auftreten, da dann die Schalldämmung des Fensters aufgehoben ist.
- Automatisierte Fensterlüftungssysteme sind kostenintensiv in der Anschaffung sowie der Wartung und bedürfen einer anspruchsvollen Regelung, damit ein bestimmtes Behaglichkeitsniveau erreicht werden kann.

3 Abluftanlagen mit hybrider Lüftung

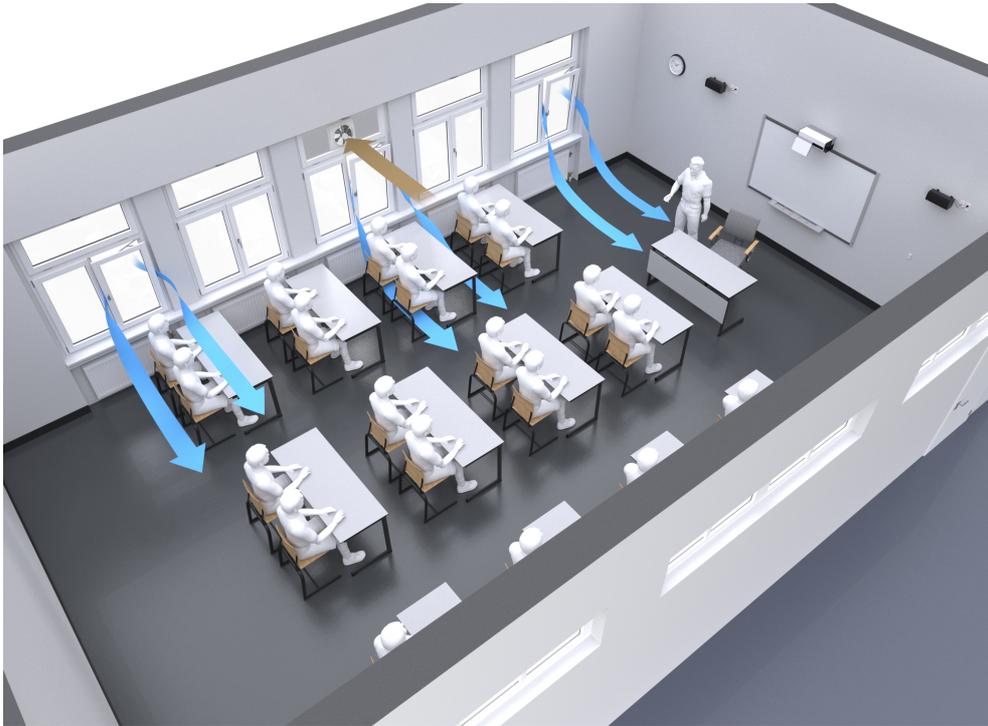
Die Fensterlüftung kann durch Abluftsysteme unterstützt werden, man spricht auch von ventilatorunterstützter, hybrider Fensterlüftung. Derartige Lösungen sind seit Jahrzehnten bekannt und wurden vor allem in der Gastronomie und im Gewerbe eingesetzt, um eine rasche, großvolumige Abfuhr von kontaminierter Raumluft zu bewirken. Ist die eintretende Luft kühler als die Raumluft, entsteht eine aufsteigende Verdrängung der Raumluft, die der Ventilator im oberen Raumbereich absaugt. Die Nachströmung der Außenluft erfolgt meist über geöffnete (gekippte) Fenster oder über definierte Nachströmöffnungen.

Einfache Abluftanlagen haben den Vorteil, dass nur relativ wenig elektrische Energie für den Lufttransport gebraucht wird. Üblicherweise werden diese Anlagen mit einem einfachen Axialventilator ausgestattet, sodass geringe Investitionen notwendig sind. Die Abluftanlage sorgt für den nötigen Unterdruck zur Umgebung im Raum und für einen permanenten Luftwechsel durch nachströmende Außenluft. Da bei diesen Anlagen keine Schalldämpfer für den Luftweg über die Fenster verwendet werden können, dringen z. B. Geräusche aus der Umgebung fast ungehindert in den Raum ein.

Das Konzept einer einfachen Abluftanlage wurde vom deutschen Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC) in der Pandemie als eine schnelle Notmaßnahme zur besseren Belüftung von Klassenräumen empfohlen und in einzelnen deutschen Schulen umgesetzt (Helleis 2021). Zusätzlich kann dieses Konzept um ein sichtbares, umfangreiches Leitungssystem, das zur Absaugung von Aerosolen oberhalb der Schülerinnen und Schüler zur Steigerung der Lüftungswirksamkeit dienen soll, ergänzt werden (ibpsc 2023).

Im Rahmen der Pandemie haben einfache Abluftanlagen einen Beitrag zur Absenkung der Aerosolkonzentration in Klassenräumen geleistet. Aus zahlreichen technischen und innenraumhygienischen Aspekten (z. B. der fehlenden Integration einer Wärmerückgewinnung, der Schallproblematik und der Nachhaltigkeit), können diese Systeme jedoch nicht für den Neubau und die Lüftungstechnische Sanierung von Klassenräumen empfohlen werden (Kremer et al. 2022).

Abbildung 2 Schema einer einfachen Abluftanlage, Bild: Kampmann GmbH & Co. KG



Vorteile von hybriden Abluftanlagen

- Abluftanlagen sind eine Notlösung in Pandemiezeiten, um Schulschließungen zu vermeiden.
- Abluftventilatoren sind kostengünstig zu installieren. Der Volumenstrom kann, unabhängig von der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen sowie den Umgebungsbedingungen, gezielt auf die benötigten Volumenströme eingestellt werden.
- Ein Abluftventilator unterstützt die Nachströmung der Außenluft durch gekippte Fenster. Wenn die Außenluft kühler als die Raumluft ist, kann die thermische Auftriebsströmung im Raum meist unterstützend zur Lüftung genutzt werden (Quellluftprinzip), der Ventilator saugt die verbrauchte Luft im oberen Raumbereich ab. Bei einfachen Abluftanlagen entfällt das gesamte Zu- und Abluftsystem vollständig.
- Bei hygienisch ausreichend dimensionierten Abluftanlagen ist in Perioden mit Häufigkeiten viraler und bakterieller Infektionen eine geringere Wahrscheinlichkeit einer Infektion anzunehmen (Müller et al. 2020).

Nachteile von hybriden Abluftanlagen

- Abluftanlagen (ventilatorunterstützte Fensterlüftung) arbeiten ohne Luftfilter. Dadurch kann sich im Vergleich zum Einsatz einer RLT-Anlage mit Zuluftfilterung eine deutlich höhere Feinstaub- und Pollenbelastung im Raum/Gebäude ergeben.
- Es können Schallprobleme durch störende Geräuschquellen in der Umgebung (Straßen, Sportplatz, Passanten etc.) auftreten, da bei Betrieb die Schalldämmung zumindest eines Fensters aufgehoben ist.
- Durch die im Allgemeinen nicht schallgedämpften Ventilatoren im Raum können zusätzlich hohe Schallpegel verursacht werden.
- Eine gezielte Lufterwärmung oder -kühlung kann mit Abluftanlagen nicht realisiert werden. Die Temperierung der nachströmenden Außenluft muss mit üblichen Heiz- oder Kühleinrichtungen im Raum erfolgen, was einen Kostenfaktor darstellt.
- Abluftanlagen besitzen keine Wärmerückgewinnung, energetisch und ökologisch ist daher die ventilatorunterstützte Fensterlüftung negativ zu bewerten, da die Lüftungswärmeverluste hoch sind und die CO₂-Bilanz negativ ist.
- Die Gefahr der Fehlbedienung ist hoch, da Fenster oft auch aus Komfortgründen geschlossen werden. In diesem Fall kann wegen fehlender Zuluft durch den Abluftventilator kein Volumenstrom mehr gefördert werden. Im ungünstigen Fall wird eine Querkontamination aus anderen Räumen z. B. durch offene Türen erzeugt.
- Je nach Öffnungsrichtung der Türen und der Drucksituation im Raum kann es bei geschlossenen Fenstern zu Sicherheitsbedenken kommen, da evtl. das Öffnen der Türen im Brandfall durch den Unterdruck erschwert oder unmöglich gemacht wird.
- Der Komfort im Raum kann durch das notwendige, permanent geöffnete Fenster deutlich negativ beeinflusst werden, da thermisch unbehagliche Zustände bei großen Temperaturunterschieden (Sommer und Winter) auftreten können.
- Durch Kaltlufteintritt und ungünstige Luftschichtung (Empfinden von „kalten Füßen“) sowie Zugluft kann es bei Abluftsystemen in der kalten Jahreszeit zu Unbehaglichkeit kommen.
- Abluftanlagen reagieren prinzipiell empfindlich auf Änderungen der Druckverteilung an der Gebäudehülle durch Windeinflüsse, da die eingesetzten Axialventilatoren flache Differenzdruck-Volumenstrom-Kennlinien aufweisen und keine hohen Differenzdrücke aufbauen können. Daher kann ein exakter Nennvolumenstrom nicht für alle Wetterzustände garantiert werden (Kremer et al. 2022).

Zusätzliche Nachteile von Abluftanlagen mit Abluftleitungen im Raum

- Spezielle Abluftanlagen mit flächig im Raum verteilten Absaugpunkten erfordern umfangreiche, sichtbare Abluftrohrleitungen sowie ggf. Schirme im Deckenbereich der Klassenräume (ibpsc 2023).
- Abluftrohrleitungen aus Kunststoff im Deckenbereich sowie ggf. vorhandene Schirme können leicht beschädigt werden und stellen keine nachhaltige Lösung dar, die Installationen realistisch betrachtet (es fehlen Studien dazu) unter den Bedingungen des Schulalltags nur eine begrenzte Lebensdauer. Werden auch die Bau- und Installationskosten berücksichtigt, ist bei der voraussichtlich kurzen Nutzungszeit des Systems kein wirtschaftlicher Betrieb zu erwarten.
- Durch Abluftrohrleitungen aus Kunststoff im Deckenbereich sowie vorhandene Schirme ist erhöhte Verschmutzungsgefahr gegeben. Derartige Installationen sind sogenannte „Schmutzfänger“ und vor allem an der Oberseite schwer und aufwändig zu reinigen, da sie für normale Reinigungskräfte zu hoch hängen und so für die periodische Reinigung nicht erreicht werden – es ist hier die statische Aufladung von Kunststoffen in Betracht zu ziehen. Es kann sich mit der Zeit eine mitunter schlecht zu entfernende Schmutzschicht auf den horizontalen Kunststoffflächen bilden. Wenn sedimentierte Stäube nicht oder unzureichend entfernt werden, können diese durch Aktivität und Erschütterungen in Unterrichtszeiten mobilisiert werden und gelangen so wieder zum Teil in die Atemluft der Nutzer.
- Die Beleuchtungssituation wird durch an der Decke befestigte, abgehängte Lüftungsleitungen verschlechtert. Es ist zu erwarten, dass eine neue Lichtplanung und vermutlich stellenweise ein zusätzlicher Einbau von Lichtquellen oder eine andere Anordnung der Leuchten erforderlich sein wird.
- Abgehängte Installationen zur Abluftführung stellen eine zusätzliche Brandlast im Raum dar, da diese meist aus Kunststoff gefertigt sind. Derartige Installationen müssen nach den Vorgaben der OIB-Richtlinie 2 (2023) ausgeführt sein.
- Sichtbare Installationen sind in Klassenräumen ästhetisch umstritten und können als ein störendes Element im Raum wahrgenommen werden – solche Installationen sind als Provisorium akzeptabel, als Dauerlösung jedoch nicht.

4 Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung

Allgemeines

Bei erhöhten Komfortansprüchen oder allgemein in Räumen mit hoher Belegung, hoher Dichtheit der Gebäudehülle und geringer Grundlüftung (wie dies für Schulklassen charakteristisch ist) ist es nur mit bedarfsgerecht geregelten Lüftungstechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) mit Wärmerückgewinnung möglich, die entsprechenden hygienischen Richtwerte für Innenräume für CO₂ für den dauerhaften Aufenthalt von Personen zu erreichen, gleichzeitig einen hohen Komfort zu bieten und Energieverluste zu vermeiden. Die Vorgaben zu Schul-, Unterrichts- und Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung sind der ÖNORM H 6039⁵ sowie den Vorgaben des Österreichischen Instituts für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS 2023) zu entnehmen.

Es kann als gesichertes Wissen und Stand der Technik angesehen werden, dass in Anwendungsbereichen wie bspw. bei vollbelegten Schulklassen eine Lüftungstechnische Anlage unumgänglich ist, wie dies unter anderem in den älteren, erläuternden Bemerkungen der OIB-Richtlinie 3, Ausgabe 2015 für Veranstaltungssäle gefordert wurde. Schulklassen und Unterrichtsräume in Bildungseinrichtungen sind von ihrer Nutzung her Veranstaltungssälen, in denen mechanische Lüftung seit Jahrzehnten Standard ist, funktionell gleichzusetzen. Die gleiche Einschätzung findet man unter anderem sowohl in der geltenden ÖNORM H 6039, in den Vorgaben des Österreichischen Institutes für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS 2023) sowie im Leitfaden „Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden Teil 1: Bildungseinrichtungen“ des deutschen Umweltbundesamtes (2017). In der Regel erfolgt die Luftzufuhr unter Zuhilfenahme ergänzender Fensterlüftung (Hybridlüftung), wie sich dies auch in der Praxis bewährt hat.

⁵ ÖNORM H 6039. Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung - Anforderungen, Dimensionierung, Ausführung, Betrieb und Wartung. 2023 02 01

Ein zentrales Lüftungsgerät, in der Regel auf dem Gebäudedach oder im Untergeschoss installiert, kann über ein Luftkanalnetz für den Luftaustausch (Zuluft und Abluft) mehrerer Räume sorgen. Aufgrund des höheren Installationsaufwandes kommt diese Art eher in Neubauten zum Einsatz. Optimierte Kaskadenlösungen können auch bei zentralen Lüftungslösungen für eine Minimierung der Rohrleitungen bei der Abluft sorgen.

Dezentrale Lösungen eignen sich vor allem für die Sanierung bestehender Schul- und Unterrichtsgebäude. Dezentrale Systeme kommen aber auch im Neubau in Frage, da ein Großteil der Leitungsführung entfällt und die Geräte platzsparend in Decke, Brüstung oder Fassade verbaut werden können.

Am Markt vorhandene, technisch ausgereifte Lösungen weisen generell einen hohen Hygienestandard, eine bedarfsgerechte Regelung und in der Regel die Möglichkeit einer Feuchterückgewinnung sowie einer Nachtlüftung auf.

Dimensionierung der Außenluftvolumenströme

Die Dimensionierung der Außen- bzw. Zuluftvolumenströme (Auslegungswerte für die Außenluft) für RLT-Anlagen erfolgt nach den Vorgaben der ÖNORM H 6039 sowie der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft „CO₂ als Lüftungsparameter“ des BMK (2023). Es wird zwischen Räumen zur dauernden Nutzung, in denen geistige Leistungen gefordert werden (Richtwert 1.000 ppm CO₂, Raumklasse A) und sonstigen Räumen unterschieden (Richtwert 1.400 ppm CO₂, Raumklasse B). Die zur Erreichung dieser Richtwerte erforderlichen Luftvolumina werden auch in den Vorgaben des Österreichischen Instituts für Schul- und Sportstättenbau (ÖISS 2023) genannt, wobei dort eine geringfügige Reduktion der zuzuführenden Luftvolumina in bestimmten Fällen angesprochen wird. RLT-Anlagen technisch ausgereifter Bauart regeln die erforderlichen Außenluftvolumina automatisch in Abhängigkeit der Luftqualität (über den Indikator CO₂, wenn möglich zusätzlich über die Luftfeuchte), um bei geringerer Belegung eine ausreichende Luftfeuchte in der kalten Jahreszeit zu erreichen und vor allem Energie einzusparen.

Für die Messung von CO₂ werden gegenwärtig CO₂-Sensoren auf NDIR-Basis als geeignet angesehen. Elektrochemische Sensoren und Halbleiter-Gassensoren sind in der Regel nicht für Messungen in Innenräumen geeignet, da auch andere Inhaltsstoffe der Raumluft angezeigt werden – diese Methoden sind daher zu wenig spezifisch. Von einer Regelung

der RLT-Anlagen über andere Parameter wie z. B. VOC wird abgeraten, ebenso von sogenannten „eCO₂-Sensoren“, die CO₂ nicht direkt detektieren, sondern versuchen, diesen Parameter über andere Parameter zu berechnen.

Für Turnsäle oder Sporträume sind erhöhte Auslegungswerte für die Außenluft-Volumenströme erforderlich, da das metabolische Äquivalent der Sporttreibenden deutlich höher ist als bei einer sitzenden Tätigkeit. Gemäß ÖNORM B 2608⁶ wird ein Außenluftvolumenstrom von etwa 40 m³/h angeführt, dieser Wert kann für große Kubaturen und fallweiser Belegung ausreichend sein. Laut ÖISS (2023) berechnet sich bei längerfristiger Nutzung und bei kleineren Räumen, in denen sich schneller die Ausgleichskonzentration einstellt, ein Auslegungs-Außenluft-Volumenstrom je nach Aktivität mit etwa 60 bis 90 m³ pro erwachsener Person und Stunde. Die Außenluftzufuhr ist in allen Fällen den tatsächlich stattfindenden Tätigkeiten im Raum durch eine Bedarfsregelung anzupassen.

Bei Mischnutzung eines derartigen Raumes für Veranstaltungen ist das auszulegende Außenluftvolumen mit der höchsten Anforderung zu berechnen, wobei pro Besucher in der Regel der Wert von 30 bis 36 m³/Person und Stunde angesetzt wird. In derartigen Fällen empfiehlt sich der Einbau von Lüftungsgeräten, die einen weiten Leistungsbereich hinsichtlich der Luftvolumina abdecken (z. B. Geräte mit mehreren individuell zuschaltbaren, kleinen Ventilatoren), um Überlüftung und zu geringe Luftfeuchte in der kalten Jahreszeit bzw. Betrieb bei energetisch ungünstigen Leistungszuständen zu vermeiden.

Die folgende Abbildung 3 zeigt die Vorgaben der ÖNORM H 6039 für erforderliche personenbezogene Außenluftvolumenströme, diese können gegebenenfalls zur Berechnung der Auslegungswerte von RLT-Anlagen in Schul- und Unterrichtsräumen dienen.

⁶ ÖNORM B 2608: Sporthallen - Richtlinien für Planung und Ausführung. 2014-04-15

Abbildung 3 Vorgaben der ÖNORM H 6039 für erforderliche personenbezogene Außenluftvolumenströme in Schul- und Unterrichtsräumen

Tabelle 2 — Personenbezogene Außenluftvolumenströme

Kategorie nach Bildungsstufen (Alter der Personen)	Erforderlicher Außenluftvolumenstrom pro Person	
	Mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1 000 ppm ^a	Mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1 400 ppm ^b
	m ³ /h	
Elementar- und Primarstufe (in der Regel 0- bis 10-Jährige)	28	17
Sekundarstufen I und II (in der Regel 11- bis 18-Jährige)	33	20
Tertiärbereich, Erwachsenenbildung, Lehrpersonen, Betreuer (in der Regel über 19-Jährige)	36	21
<p>ANMERKUNG 1 Für Kinder der Elementarstufe wird für das metabolische Äquivalent (met) ein Wert von 2 angenommen, da diese in der Regel eine höhere Aktivität zeigen (Spielen, Krabbeln etc.). Bei der Berechnung wurden für Gewicht und Größe die Durchschnittswerte von 2- bis 6-Jährigen (ø 4-jährig) herangezogen.</p> <p>ANMERKUNG 2 Für Schüler der Primarstufe wird für das metabolische Äquivalent ein Wert von 1,4, für Schüler der Sekundarstufen I und II sowie für Personen im Tertiärbereich ein Wert von 1,2 angesetzt.</p> <p>ANMERKUNG 3 Für die Berechnung wird eine CO₂-Außenluftkonzentration von 420 ppm angenommen.</p> <p>ANMERKUNG 4 Der informative Anhang A enthält das Berechnungsmodell zur Ermittlung des erforderlichen Außenluftvolumenstroms.</p>		
<p>^a Werte für Funktionsbereiche mit Schwerpunkt Unterricht/Lernen/Arbeit (z. B. Unterrichtsräume, Kindergarten-gruppenräume, Hörsäle, offene Lernzonen, Mehrzweckräume, Bibliotheken, Arbeitsbereiche für Lehrende)</p> <p>^b Werte für Funktionsbereiche mit Schwerpunkt Freizeit/Erholung (z. B. Speisebereich, Aula, Homebases, Sozialbereiche für Lehrende) und Erschließungsbereiche</p>		

Die folgende Abbildung 4 zeigt die Vorgaben des Österreichischen Institutes für Schul- und Sportstättenbau zur Berechnung der Auslegungswerte von RLT-Anlagen in Sporthallen (ÖISS 2023). Diese können zur Berechnung der Auslegungswerte von RLT-Anlagen in Sporthallen oder in Räumen ähnlicher Nutzung dienen.

Abbildung 4 Erforderliche personenbezogene Außenluftvolumenströme in Sporthallen laut ÖISS

Kategorien nach Bildungsstufen (Alter der Personen)	Erforderlicher Außenluft-Volumenstrom m ³ /h pro Nutzer/in in Sporthallen	
	Angaben für eine mittlere CO ₂ -Konzentration in der Raumluft von 1400 ppm	
	moderate sportliche Aktivität von 100% der Anwesenden mit met=4,8	schwere sportliche Aktivität von 100% der Anwesenden mit met=6,7
Elementar- und Primarstufe (i.d.R. 0-10 Jährige)	46	64
Sekundarstufe I und II (i.d.R. 11-18 Jährige) Tertiärbereich, Erwachsenenbildung, Lehrpersonen, Betreuer/innen (i.d.R. über 19 Jährige)	63	88
<p>Für alle Anwesenden, die sportlich aktiv sind, wird ein Wert für das metabolische Äquivalent von met=4,8 (moderate Anstrengung) bzw. met=6,7 (starke Anstrengung) angesetzt. Für andere Annahmen für das metabolische Äquivalent met ergeben sich lineare Abhängigkeiten der erforderlichen personenbezogenen Außenluft-Volumenströme. Bei 50% sportlich Aktiven wird für den resultierenden Wert für das metabolische Äquivalent der arithmetische Mittelwert von met=1,6 (stehend) und dem jeweiligen met für die Aktivität herangezogen. Die CO₂-Außenluftkonzentration wird für die Berechnung mit 410 ppm angenommen. Werte für den Zielwert von 1400 ppm sind in Räumen anzusetzen, sofern diese von pädagogischen Bereichen räumlich entkoppelt sind</p>		

Tabelle 3: Personenbezogene Außenluft-Volumenströme für Sporthallen, berechnet nach Persily & de Jonge¹⁶

Die Luftvolumenströme für jede Nutzungseinheit (Unterrichtsklassen- oder Werkräume, Sporthallen) müssen automatisch mittels CO₂-Sensoren auf NDIR-Basis bedarfsgerecht geregelt und damit der jeweiligen Belegung und dem Nutzerverhalten angepasst werden. Wichtig ist dies bei geringen Belegungen oder wenn relevante, CO₂-arme Außenluftvolumina bspw. in der Übergangszeit zusätzlich auch durch gekippte oder geöffnete Fenster zugeführt werden. Bei der Auslegung des Gesamtsystems eines Gebäudes sind gegebenenfalls Gleichzeitigkeitsfaktoren zu berücksichtigen, um eine sogenannte „Überlüftung“ zu verhindern. Insbesondere bei Systemen ohne Feuchterückgewinnung oder Befeuchtungseinrichtung kann ein zu hohes Außenluftvolumen in der kalten Jahreszeit eine zu niedrige Raumluftfeuchte bewirken. Zur Vermeidung von zu niedriger Luftfeuchte ist daher der Einsatz einer geeigneten Feuchterückgewinnung zu empfehlen.

Neben der Anpassung der Luftvolumina an den Bedarf durch Luftqualitätssensoren trägt eine optimierte Kaskade von Unterrichts- und Aufenthaltsräumen zur Aula, zu Gängen und zu Nebenräumen bis zu Nassräumen dazu bei, das benötigte Gesamtluftvolumen und den Verrohrungsaufwand bei der Abluft zu verringern. Systeme mit zentraler Luftzufuhr in den Gangbereich und aktiven Überströmelementen in die Unterrichtsräume können den Verrohrungsaufwand im Zuluftbereich weiter verringern und sind insbesondere für die Sanierung eine überlegenswerte Alternative.

Strömungsformen im Raum

Luftströmungen im Raum beeinflussen stark die Verteilung von Schadstoffen und Luftkeimen, die Temperaturverteilung und damit die Hygiene und Behaglichkeit in Schul- und Unterrichtsräumen.

Bei der Mischlüftung wird die Zuluft mit hohem Impuls in den Raum eingebracht (Induktionslüftung). Die Zuluftdurchlässe liegen meist im Deckenbereich außerhalb der Aufenthaltszone. Thermische Lasten werden durch das Vermischen der Raumluft mit kälterer Zuluft abgeführt. Die Schadstoffe werden durch das Verdünnen der Raumluft abtransportiert. Eine schnelle und optimale Vermischung der Zu- und Raumluft ermöglicht eine nahezu gleiche Geschwindigkeits-, Temperatur- und Schadstoffkonzentrationsverteilung in jedem Punkt des Raumes (FGK 2022). Um allerdings das Zugluftrisiko im Aufenthaltsbereich zu minimieren, ist der Platzierung und Auslegung der Luftauslässe bei Induktionssystemen besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Die Quelllüftung basiert auf der freien Konvektion der im Raum befindlichen Wärmequellen. Die Zuluft wird mit Untertemperatur und niedrigen Geschwindigkeiten in den Raum eingebracht. Eine stabile Schichtung im Raum wird durch vertikale Temperatur- und Dichteunterschiede erreicht. Die Luftgeschwindigkeit am Luftaustritt sollte auf 0,25 m/s begrenzt werden, um Zegerscheinungen zu vermeiden und den Quelllüftungseffekt sicherzustellen. Die Struktur der Raumluftströmung wird von den Konvektionsströmen an den im Raum befindlichen Wärmequellen bestimmt. Sind die Wärmequellen gleichzeitig die Schadstoffquellen im Raum, wird die belastete Luft aufgrund der Konvektionsströme nach oben abgeführt (FGK 2022).

Bei der Belüftung von Schul- und Unterrichtsräumen ist die thermische Behaglichkeit, darunter auch die Luftgeschwindigkeit an den Sitzplätzen zumindest nach Kategorie B der ÖNORM EN ISO 7730⁷ sicherzustellen.

Mit beiden Lüftungsarten lassen sich zufriedenstellende Lösungen der Luftversorgung bewerkstelligen. Die Quelllüftung stößt allerdings bei niedrigen Raumhöhen an ihre Grenzen, da die Höhe zur Ausbildung von stabilen Schichten oft fehlt. Die notwendige

⁷ ÖNORM EN ISO 7730 Entwurf. Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. 2023 04 15

Zuluft ist jedenfalls möglichst zugfrei und geräuschlos einzubringen, wobei gegebenenfalls spezielle Luftdurchlässe für die Zuluft erforderlich sind.

Insbesondere im Altbau stellt sich die Frage, wie man den Aufwand für die Leitungsinstallation und -integration minimieren kann. Mischlüftungen (Induktionslüftungen) bieten hinsichtlich Platzierung der Luftauslässe mehr Möglichkeiten. Da Ein- und Auslässe auch an der gleichen Seite angebracht werden können, kommt man im Regelfall mit kürzeren Leitungslängen aus (komfortlüftung.at 2023). Die Kombination einer bodennahen Quelllüftung und einer lokalen Mischluftzone außerhalb des Aufenthaltsbereichs ermöglicht, die Vorteile beider Strömungsformen als Misch-/Quelllüftung zusammenzuführen. Bei dieser Strömungsform liegt die Lüftungseffektivität mit Werten von $\varepsilon_{ev}=1$ bis $\varepsilon_{ev}=1,2$ zwischen den Werten der Misch- und der Quelllüftung. Die Lüftungseffektivität variiert in Abhängigkeit von Temperatur, Luftvolumenstrom, Luftverteilung und thermischen Lasten. In FGK (2022) wird eine Übersicht über Vor- und Nachteile der verschiedenen Strömungsformen gegeben. Wichtige Auswahlkriterien für die Entscheidung, ob eine Quell- oder Induktionslüftung zur Anwendung kommen soll, findet man auch auf komfortlüftung.at (2023).

Hygiene und Wartung bei Lüftungstechnischen Anlagen

Die mitunter von fachfremden Personen geäußerte Meinung, dass RLT-Anlagen generell „Keimschleudern“ wären, ist bei normgerecht betriebenen Anlagen fachlich keinesfalls aufrechtzuerhalten. Es ist vielmehr so (wie auch Untersuchungen in österreichischen Neubauten zeigten), dass durch den Einbau normgerechter Lüftungstechnischer Anlagen in Innenräumen deutlich niedrigere Konzentrationen an mikrobiellen Bestandteilen (bspw. Schimmelsporen), Allergenen sowie tendenziell auch niedrigere Schadstoff- und Radonkonzentrationen als bei reiner Fensterlüftung zu erwarten sind (Tappler et al. 2014). Es ist auch davon auszugehen, dass mit Lüftungstechnischen Anlagen in Verbindung mit einer entsprechenden Dichtheit der Gebäudehülle der in der Radonverordnung (RnV) festgelegte Referenzwert für den Radongehalt in der Innenraumluft von 300 Bq/m^3 eingehalten wird (siehe auch ÖNORM S 5280-2⁸).

⁸ ÖNORM S 5280-2 Radon: Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden. 2021-07-15

Ein wichtiger Punkt ist auch eine regelmäßige, fachgerechte Wartung der Lüftungstechnischen Anlage, wie dies auch in der Arbeitsstättenverordnung gesetzlich vorgeschrieben ist. Die Wartung hat, außer es befindet sich eine geschulte Person im Haus, durch externe Firmen nach den Vorgaben der einschlägigen Regelwerke (bspw. VDI-Reihe 6022⁹) zu erfolgen.

Bei Lüftungstechnischen Anlagen ist auf die Sauberkeit der luftführenden Elemente zu achten, eine Reihe von Regelwerken wie ÖNORMen sowie die erwähnte VDI-Reihe 6022 beziehen sich auf diesen Punkt. Dieser beinhaltet Maßnahmen bei Planung, Montage, Betrieb und Wartung der Anlage. Um Verunreinigungen im Luftleitungsnetz feststellen zu können, ist dieses so zu planen und auszuführen, dass eine einfache Inspektion luftführender Anlagenteile möglich ist. Weiters sind möglichst lange Reinigungsintervalle sowie eine kostengünstige Reinigung ohne Demontage von Anlagenkomponenten erstrebenswert. Die Betreuung und Wartung von größeren Lüftungstechnischen Anlagen sollte tunlichst über Wartungsverträge mit externen Fachbetrieben erfolgen. In Schul- und Unterrichtsräumen kann die laufende Betreuung nur dann durch den Schulwart erfolgen, wenn dieser für die anfallenden technischen Anforderungen hinreichend geschult ist und die dafür notwendigen zeitlichen Ressourcen zur Verfügung stehen.

Die Anordnung der Außenluftansaugung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Zuluft. Bei der Planung ist auf eine geeignete Positionierung zu achten, die die herrschenden Gegebenheiten wie beispielsweise sommerliche Überhitzung oder Schadstoffanfall (z. B. Autoabgase), aber auch allenfalls vorhersehbare zukünftige Veränderungen der Umgebungsbedingungen (z. B. geplante Bebauung, Verkehrsflächen) berücksichtigt.

Ein wichtiger Punkt bei Lüftungstechnischen Anlagen ist die Vermeidung des Eintritts von Luftverunreinigungen in die Zuluft durch Außenluftfilter mit entsprechend hoher Filterklasse. Höherwertige Filter sind unter anderem deshalb empfehlenswert, weil dadurch eine effiziente Senkung der Allergen- und Feinstaubkonzentration in Innenräumen ermöglicht wird. Als Mindestqualität für die Zuluftfilter für Schulen ist die Klasse ePM1 50 % nach ÖNORM EN ISO 16890-1¹⁰ anzusehen. Während der Bauphase, im

⁹ ÖNORM H 6021. Lüftungstechnische Anlagen - Reinhaltung und Reinigung - Nationale Ergänzungen zu ÖNORM EN 15780. 2023 01 15

¹⁰ ÖNORM EN ISO 16890-1: Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik - Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem basierend auf Feinstaub (PM) (ISO 16890-1:2016). 2017 06 15

Betrieb und bei Instandhaltungsmaßnahmen besteht die Gefahr, dass das Innere von Lüftungstechnischen Anlagen, vor allem das Luftleitungssystem, mit Stäuben und unter Umständen auch Flüssigkeiten verunreinigt wird. Das primäre Verhindern von Verunreinigungen ist zielführender als nachträgliche Reinigungsmaßnahmen. Das Luftleitungssystem muss während der Bauphase bzw. Lagerung staubdicht abgeschlossen werden, anschließend ist, wenn trotz Reinhaltungsmanagement nötig, eine Bauendreinigung des Luftleitungssystems durchzuführen. Die Inbetriebnahme der Anlage hat daher, wenn möglich, nach Abschluss von staubverursachenden Tätigkeiten zu erfolgen, bzw. sind jedenfalls nach einem durchgeführten Probetrieb die Filter vor Beginn des regulären Betriebs zu erneuern.

Sommerliche Überwärmung

Ein wichtiger Punkt bei der Planung von Schul- und Unterrichtsräumen ist die in der warmen Jahreszeit zu beobachtende Überwärmung der Klassenräume. Diese Komforteinbußen werden mitunter einer mangelhaften Funktion der Lüftungsanlage zugeschrieben. Diese Überwärmung kann bereits bei Außentemperaturen von unter 15 °C auftreten. Die Wärmerückgewinnung kann im Sommer dazu beitragen, den Wärmeeintrag von außen etwas zu senken. Auch wenn die Wärmerückgewinnung im Gerät umgangen wird, reicht das Luftvolumen mitunter nicht aus, um den allein durch den Wärmeeintrag der Nutzer verursachten Temperaturanstieg der Raumluft zu verhindern. Wenn zu Unterrichtsbeginn in der warmen Jahreszeit bereits Raumtemperaturen um 24 °C herrschen, kann meist eine Überwärmung während des Unterrichts nicht mehr verhindert werden. Zusätzliche solare Wärmeeinträge können von einer Lüftungsanlage alleine nicht abgeführt werden.

Zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung sind bauliche Voraussetzungen eine zentrale Notwendigkeit. Ein wichtiger Punkt bei RLT-Anlagen ist der Bereich der Außenluftansaugung, der die Zulufttemperatur direkt definiert. Erhebliche Wärmeeinträge erfolgen besonders an nicht nordorientierten Glasflächen durch direkte Sonneneinstrahlung. Aus diesem Grund müssen primär passive Maßnahmen in Form von Außenbeschattungen, die auch außerhalb der Unterrichtszeit wirksam sind, eingesetzt werden. Neben der Minimierung von Wärmeeinträgen trägt vor allem eine schwere Bauweise mit wärmespeicherfähigen Oberflächen wesentlich zur Dämpfung der Temperaturspitzen bei.

Technisch ausgereifte Lüftungsanlagen können ergänzend zur Bereitstellung des hygienischen Luftwechsels während der Unterrichtszeit bei Bedarf die Anlage in der Nacht in Betrieb nehmen und unter Umgehung der Wärmerückgewinnung eine Nachtlüftungsfunktion übernehmen. Bei längerer Leitungsführung schränken die Transmissionsverluste ungedämmter Zuluftleitungen den Kühleffekt für die Klassenzimmer deutlich ein. Ein praktikablerer Weg wäre daher, die Außenlufteinbringung direkt über motorisch öffnbare Oberlichter in den Klassen zu realisieren, die über Kontakte nur den Abluftventilator des Lüftungsgerätes freigeben. Der Abluftventilator sollte bei der Nachtlüftungsfunktion auf höchster Stufe betrieben werden (komfortlüftung.at 2023).

Zudem besteht bei zentralen RLT-Anlagen die Möglichkeit, eine indirekte Verdunstungskühlung zu realisieren – dabei wird Wasser in der Abluft versprüht. Die dadurch erzeugte „kühlere“ Abluft nimmt die Wärme der Außenluft über die Wärmerückgewinnung auf. Damit kann bei z. B. 32 °C Außenlufttemperatur und 26 °C Ablufttemperatur ohne den Betrieb von Kälteanlagen eine Zulufttemperatur von 23 °C erreicht werden.

Als hilfreich in der Praxis hat sich auch ein Freispülen der Unterrichtsräume am frühen Morgen erwiesen. Dabei wird zumindest eine halbe Stunde vor Unterrichtsbeginn die Lüftungsanlage unabhängig von der CO₂-Konzentration im Raum aktiviert. Dies sorgt dafür, dass unangenehme Gerüche aus dem Raum entfernt werden und die Unterrichtszeit quasi in einem unbelasteten Raum starten kann.

Schall und Akustik

Die akustische Qualität in Klassenzimmern hat einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von Schülern, Studierenden und dem Lehrpersonal. Der akustische Komfort hat den gleichen Stellenwert wie der thermische Komfort oder eine gute Raumluftqualität. Erforderlich ist eine gute Sprachverständlichkeit im Unterricht bei möglichst müheloser Sprechweise des Lehrers. Die akustische Wahrnehmung durch die Schüler wird durch Störgeräusche und die akustischen Raumeigenschaften beeinflusst. Bezüglich der zulässigen Schallbelastung durch mechanische Lüftungsanlagen sind die Anforderungen der OIB-Richtlinie 5 (OIB 2023) sowie der ÖNORM H 6039 einzuhalten. Bei der Nutzung von RLT-Anlagen werden üblicherweise Schalldämpfer in den Geräten verwendet, so dass die Schallpegel dann niedrig sind.

Brandschutz

Es wird auf die örtlich unterschiedlichen Brandschutzvorschriften hingewiesen. Bei der Festlegung der Luftführung ist das Durchdringen unterschiedlicher Brandabschnitte aus Kostengründen möglichst zu vermeiden. Bei der Auswahl der Komponenten ist die für den Anwendungsfall geforderte Brandschutzklasse zu beachten.

Allgemeine Hinweise betreffend Bauwerke sind in der OIB-Richtlinie 2 Brandschutz (OIB 2023) und den entsprechenden Regelwerken zu finden. Installationen im Bereich der Innenräume sollten möglichst aus unbrennbaren Materialien bestehen, um gegebenenfalls die Brandlast zu reduzieren. Es sind hier speziell die Vorgaben bezüglich „Versammlungsräume“ der OIB-Richtlinie 2 zu beachten.

Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit

Die Alternativen einer Schullüftung mit und ohne WRG wurden auf Basis der Simulationen des Heizfalles für den Auslegungsfall und den Gebäudespeichereffekten bewertet (Kaup 2023). Dabei wurden die CO₂-Emissionen im Betrieb (Wärme und Strom) sowie die grauen Emissionen zur Herstellung der Komponenten der Anlage im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung (LCA) berechnet. Aus den Berechnungen wird deutlich, dass die Wärmerückgewinnung einen erheblichen Einfluss auf die Ökologie von RLT-Anlagen hat. Unter Berücksichtigung der mittleren CO₂-Emissionsfaktoren für Deutschland ergaben sich je nach gewählter Bilanzgrenze CO₂-Minderungen pro 1 000 m³/h Zuluftvolumen von netto 878 kg CO₂ eq. (Anlage) bis 970 kg CO₂ eq. (nur WRG) pro Jahr.

Von Kremer et al. wurden ebenfalls mit Hilfe eines Berechnungsmodells speziell für Schul- und Unterrichtsräume Untersuchungen durchgeführt, um Aussagen darüber machen zu können, wie sich der Einsatz einer Wärmerückgewinnung in einem Klassenzimmer energetisch und wirtschaftlich auswirkt (Kremer et al. 2021). Durch den Einsatz einer Wärmerückgewinnung (WRG) kann nach diesen Berechnungen der Endenergiebedarf für die Wärme um etwa 80 % reduziert werden. Die Wärmerückgewinnung ermöglicht darüber hinaus eine Senkung der CO₂-Emissionen um etwa 67 % (Zu- und Abluft mit WRG) bzw. 58 % (Zu-/Abluft mit reduzierter Wärmerückgewinnung) gegenüber einer kombinierten Zu- und Abluftanlage ohne einer solchen. Der Einsatz einer WRG ermöglicht somit eine Einsparung der CO₂-Emissionen von etwa einer Tonne pro Jahr und Klassenraum.

Zum Vergleich des Primärenergiebedarfes unterschiedlicher RLT-Anlagen siehe Abbildung 5 aus Kremer et al. (2021).

Abbildung 5 Primärenergiebedarf unterschiedlicher RLT-Anlagen gemäß Abb. 3 und 4 aus Kremer et al. (2021)

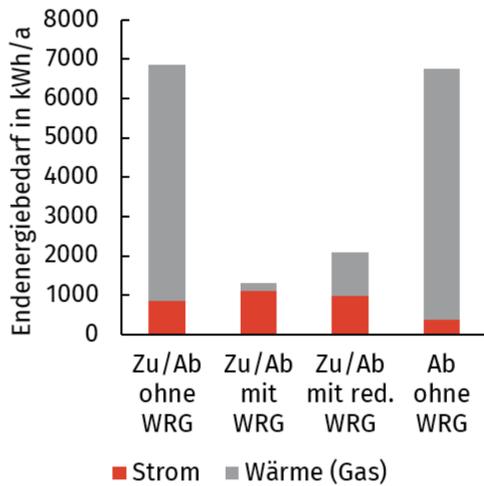


Abbildung 3 – jährlicher Endenergiebedarf der RLT-Anlagen im Vergleich

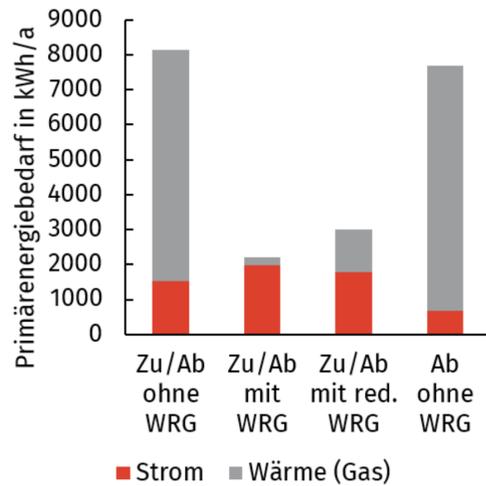


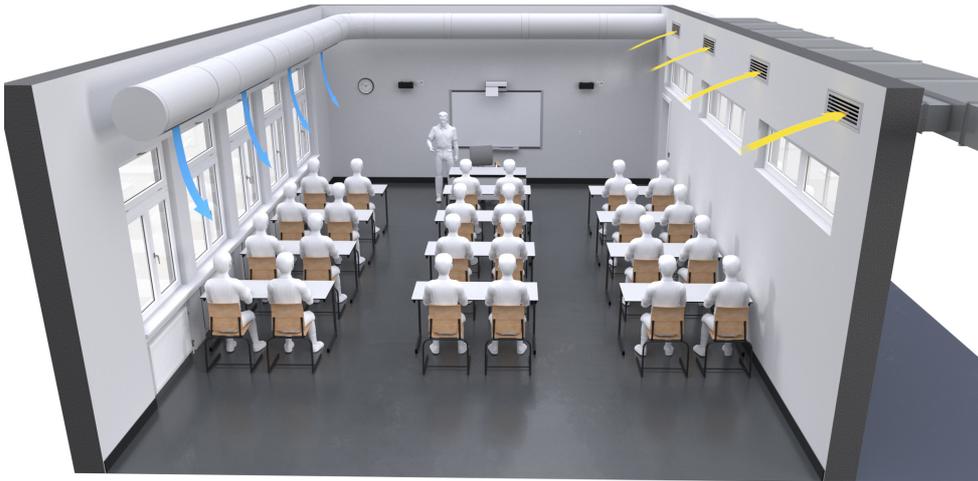
Abbildung 4 – jährlicher Primärenergiebedarf der RLT-Anlagen im Vergleich

Weiters zeigen die Ergebnisse der Studie, dass das Nachrüsten einer Lüftungsanlage mit Zu- und Abluft sowie einer Wärmerückgewinnung in bestehenden Klassenräumen zu diesem Zeitpunkt Mehrkosten von etwa 30 € je Schüler im Jahr verursacht (Kremer et al. 2021).

Technisch ausgereifte Wärmerückgewinnungssysteme führen in Schulen – unter Voraussetzung gleicher Außenluftvolumenströme und angemessener Behaglichkeitsforderungen – zu großen Energieeinsparungen und sind daher immer sinnvoll, bei RLT-Anlagen mit Zu- und Abluft sind diese gesetzlich vorgeschrieben (OIB 2023). Die Effizienz und auch Regelung der Wärmerückgewinnung sind dabei durch

europäische Gesetzgebung reguliert, es ergeben sich daher Mindestanforderungen an die Effizienz¹¹.

Abbildung 6 Schema einer kontrollierten mechanischen Be- und Entlüftungsanlage, Bild: Kampmann GmbH & Co. KG



Vorteile von kontrollierter mechanischer Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung

- Die zugeführten Luftvolumenströme, die ausreichend sind, um eine Ausgleichskonzentration von etwa 1.000 ppm CO₂ nicht zu überschreiten, wirken sich in signifikanten Leistungsgewinnen und volkswirtschaftlichem Nutzen aus, ohne im Vergleich zu Fensterlüftung den Nachteil erhöhter Energie- oder Komfortverluste in Kauf nehmen zu müssen (Slotsholm A/S 2012; Shaughnessy et al. 2006; Wargocki et al. 2000).
- Bei Anlagen mit Feuchterückgewinnung werden im Winter höhere Luftfeuchten als bei einer gleichwertigen Lüftungslösungen mit Fensterlüftung oder Abluftventilatoren erreicht.
- Bei geschlossenen Fenstern kann der Außenlärm durch Verkehr, Passanten und andere Schallquellen stark reduziert werden. Die Geräuschbildung der Lüftungstechnik ist bei technisch ausgereiften dezentralen Anlagen beherrschbar,

¹¹ Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen

zentrale Anlagen sind aufgrund der Verwendung von geeigneten Schalldämpfern in typischen Unterrichtssituationen praktisch unhörbar.

- Das Risiko einer Infektion durch luftgetragene Keime (vor allem Viren) sinkt stark mit den zugeführten Luftvolumina. Bei hygienisch ausreichend dimensionierten RLT-Anlagen ist eine über den gesamten Zeitraum gesicherte, vergleichsweise geringe Wahrscheinlichkeit einer Infektion gegeben (Müller et al. 2020).
- Der Volumenstrom kann bedarfsabhängig über die Parameter CO₂ und evtl. Feuchte geregelt werden.
- Da die Außenluft in der kalten Jahreszeit kühler als die Raumluft ist, kann die thermische Auftriebsströmung im Raum unterstützend genutzt werden, wenn die Zuluft im Bodenbereich impulsarm eingebracht wird, zumal eine Kühlung der Zuluft möglich ist (kontrollierte Quellluft).
- Da sowohl Zu- als auch Abluft kontrolliert dem Raum zu- bzw. abgeführt wird, ist die Lüftungsfunktion nutzerunabhängig gewährleistet. Eine Fehlbedienung ist kaum möglich, da eine RLT-Anlage nicht durch den Nutzer eingestellt werden muss und so automatisch für die richtigen Raumluftparameter sorgt. Sämtliche Luftbehandlungsfunktionen können sicher ermöglicht werden.
- Dezentrale Be- und Entlüftungsanlagen sind in den zu belüftenden Räumen leicht nachrüstbar. Die Geräte sind betriebsfertig und benötigen in der Regel lediglich zwei Kernbohrungen oder einen Fenstertausch zur Integration der Zu- und Abluftführung. Es entfällt ein Großteil der Leitungsführung, die Geräte können platzsparend in Decke, Brüstung oder Fassade verbaut werden.
- Geräte mit Feuchterückgewinnung benötigen keinen Kondensatabfluss.
- Durch die Nutzung von Wärme- und Feuchterückgewinnung kann die Abwärme effizient genutzt und die Raumluftfeuchtigkeit im Winter angehoben werden.
- Im Sommer kann durch die Entwärmung und Entfeuchtung der Zuluft ein gewisser Kühleffekt realisiert werden, der durch eine indirekte Verdunstungskühlung gesteigert werden kann.
- Der Außenluftvolumenstrom wird durch die Verwendung normgerechter Zuluftfilter gefiltert. Hierdurch wird die Feinstaub-, Pilzsporen- und Pollenbelastung im Raum/Gebäude deutlich reduziert.
- Die Zuluft wird in der kalten Jahreszeit temperiert. Dadurch wird der thermische Komfort im Raum signifikant erhöht.
- Die Betriebskosten von Lüftungsanlagen werden bei energieeffizienten, technisch ausgereiften Anlagen durch die Energieeinsparkosten ausgeglichen. Durch die Wärmerückgewinnung wird daher die ökologische Gesamtsituation verbessert. Bei einer RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung (Volumenstrom 1.000 m³/h, z. B. für

einen Klassenraum) werden pro Jahr mit Berücksichtigung der grauen Emissionen zur Herstellung der RLT-Anlage rund eine Tonne CO₂-Emissionen vermieden (C).

- Mittels Kaskadensystem lassen sich gegenüber klassisch ausgeführten RLT-Anlagen Zu- bzw. Abluftleitungen einsparen.

Nachteile von kontrollierter mechanischer Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung

- RLT-Anlagen sind als komplexe haustechnische Installationen zu verstehen. Die Anforderungen an Planung, Ausführung und Betrieb sowie die regelmäßige Wartung von RLT-Anlagen schlagen sich in den Investitions- und Folgekosten nieder.
- Zentrale RLT-Anlagen sind nicht direkt durch den Nutzer zu beeinflussen, dadurch ist mitunter die Nutzer- und Nutzerinnenakzeptanz geringer.
- Zentrale RLT-Anlagen sind oftmals nur mit größerem Aufwand nachrüstbar. Sie werden deswegen vorzugsweise in neu zu errichtenden Gebäuden oder bei einer Generalsanierung eingebaut.
- Dezentrale RLT-Anlagen benötigen – je nach Planungsvorgaben – eine entsprechende Nutzfläche im Raum (Decken-, Brüstungs- oder Fassadengeräte haben praktisch keinen Nutzflächenbedarf) und bedingen Eingriffe in die Fassade.
- Die Leitungslängen zentraler Anlagen sind in der Regel hoch – dies wirkt sich auf die Energieeffizienz und den Wartungsaufwand aus.
- Lüftungsanlagen müssen aufgrund ihrer Komplexität fachgerecht errichtet, betrieben und gewartet werden. Es ist daher unerlässlich, bei Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung/Instandhaltung auf eine fach- und normgerechte Vorgangsweise zu achten und die Wartung befugten Stellen zu übergeben.

5 Zusammenfassende Bewertung

Obwohl die Möglichkeit einer händischen Fensterlüftung in Schul- und Unterrichtsräumen für die subjektiv wahrgenommene Akzeptanz sehr wichtig ist, kann allein dadurch die hygienisch gewünschte Raumluftqualität in Verbindung mit hohem Komfort nicht erreicht werden. Mechanische Lüftungsanlagen hingegen senken nicht nur die CO₂-Werte, sondern auch die Schad- und Geruchsstoffkonzentrationen. Sie tragen durch die Verdünnung des Aerosolgehalts auch zu einer deutlich niedrigeren Virenlast bei. Mechanische Lüftungsanlagen steigern nachweislich nicht nur die Konzentrationsfähigkeit in den Klassenzimmern und somit den Lernerfolg, sondern können auch das Ansteckungsrisiko gegenüber Luftkeimen wie Corona- oder Erkältungsviren deutlich senken.

Die unterschiedlichen Lüftungsformen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Schallsituation im Raum. Kommt in einem Klassenzimmer die freie Lüftung über Fenster oder Abluftanlagen zum Einsatz, wird der Störpegel im Raum zusätzlich durch den Außenlärmpegel beeinflusst. Niedrige Schalldruckpegel sind bei geöffnetem Fenster an verkehrsreichen Straßen in der Regel nicht erreichbar.

Die Betriebskosten von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung werden in etwa durch die Energieeinsparungskosten ausgeglichen. Durch eine intelligente Planung können auch die Investitionskosten stark reduziert werden. Entscheidend dafür ist die richtige Dimensionierung des zugeführten Außenluftvolumens in Verbindung mit einer Bedarfsregelung, einer kompakten Anlage und möglichst kurzen Leitungslängen.

Mit Kosten von mechanischen Be- und Entlüftungsanlagen in der Höhe von unter 50,- Euro pro Jahr und Schülerin bzw. Schüler sind mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung – auch aufgrund der durch sie bewirkten höheren Gebäudeenergieeffizienz – ein wichtiges Kriterium für einen nachhaltigen Gebäudestandard.

Zusammenfassend wird daher bei Neu- oder Umbau von Bildungseinrichtungen eine normgerechte geplant und ausgeführte raumlufttechnische Anlage mit Wärme- und Feuchterückgewinnung empfohlen, wie dies auch die einschlägigen Regelwerke tun. Dadurch können im Winter behagliche Raumtemperaturen aufrechterhalten werden und es ergeben sich zahlreiche weitere Vorteile in Hinblick auf Komfort und

Innenraumhygiene. Es wird empfohlen, bei Einbau einer hochwertigen Lüftungsanlage sinngemäß die Vorgaben der klimaaktiv-Komfortlüftungsbroschüre des BMK (2023) sowie die Qualitätskriterien des Vereines Komfortlüftung zu berücksichtigen (komfortluftung.at 2023).

Bei der Mehrzahl der mechanischen Lüftungssysteme sind langfristig die monetären Kosten sowohl für die Errichtung als auch für den Betrieb im Vergleich zum volkswirtschaftlichen und gesundheitlichen Nutzen durch verbesserte Außenluftzufuhr generell als vernachlässigbar gering anzusehen. Für eine monetäre Beurteilung wichtig erscheint die Qualität, die man für die Anfangsinvestition erhält. In Lebenszykluskostenberechnungen, die auch den volkswirtschaftlichen Nutzen durch deutlich verringerte Krankenstandzeiten und den Gewinn an Leistungsfähigkeit berücksichtigen, schneiden technisch ausgereifte RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung aufgrund der oben genannten Faktoren (Energieeffizienz, Hygiene, Schall, Filterung der Zuluft, Luftfeuchte usw.) wesentlich besser als andere Systeme ab.

Literaturverzeichnis

Die nicht im Literaturverzeichnis aufgeführten Regelwerke sind in den Fußnoten bei Erwähnung der Regelwerke oder im einleitenden Text aufgeführt.

Arbeitskreis Klimatechnik (2022): Lüftung unter Pandemiebedingungen, insbesondere zu Schulen und vergleichbaren Räumen. Stellungnahme, getragen von universitären Fachinstituten Deutschlands.

BMK (2023): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (mehrere Teile). Herausgegeben vom Arbeitskreis Innenraumluft im Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).

Birmili W, Selinka HC, Moriske HJ, Daniels A, Straff W (2021): Lüftungskonzepte in Schulen zur Prävention einer Übertragung hochinfektiöser Viren (SARS-CoV-2) über Aerosole in der Raumlufte. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz, 64(12), 1570-1580.

Buonanno G, Ricolfi L, Morawska L, Stabile L (2022): Increasing ventilation reduces SARS-CoV-2 airborne transmission in schools: A retrospective cohort study in Italy's Marche region. *Frontiers in Public Health*, 10, 1087087.
[frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.1087087](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2022.1087087)

Helleis F, Klimach T, Pöschl U (2021): Ventilator-Fensterlüften gegen COVID-19 und für gute Luft in Schulklassen. mpic.de/5043150

FGK (2022): FGK-Status-Report 22 – Lüftung von Schulen. Fachverband Gebäude-Klima eV Nr. 174.

Hohenblum P, Kundi M, Gundacker C, Hutter HP, Jansson M, Moosmann L, Scharf S, Tappler P, Uhl M (2008): LUKI – LUft und Klinder. Einfluss der Innenraumlufte auf die Gesundheit von Kindern in Ganztagschulen. Report REP-0182. Umweltbundesamt Wien.

ibpsc (2023): CovEd-Verbesserte SARS-CoV-2-Raumbelüftungsprotokolle für natürlich belüftete Büro-, Seminar- und Klassenräume. TU-Graz Institut für Bauphysik, Gebäudetechnik und Hochbau.

tugraz.at/institute/ibpsc/forschung/forschungsprojekte/laufende-projekte/coved

Kaup C (2023): Bewertung der Wärmerückgewinnung mit raumlufttechnischen Geräten in Schulen und vergleichbaren Räumen versus Fensterlüftung. HLH Bd. 73, Nr. 01-02.

umwelt-campus.de/fileadmin/Umwelt-Campus/User/CKaup/HLH_07-08-2023.pdf

Knaus C, Spitzer MH, Hartmann T (2017): Forschungsprojekt zu Grundlagen- und Konzeptentwicklung für die Analyse von praxisgerechten Lüftungskonzepten. Forschungsprogramm Zukunft Bau des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Internet vom 17.08.2023:

bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2016/lueftungskonzepte/01-start.html?nn=436654

klimaaktiv.at (2023): Website zu Komfortlüftungen.

klimaaktiv.at/erneuerbare/erneuerbarewaerme/Heizungssysteme/Komfortlueftung.html

komfortlüftung.at (2023): Website des Vereines „komfortlüftung.at“. [komfortlüftung.at](https://komfortlueftung.at)

Kremer M, Rewitz K, Müller D (2021): Bewertung der Wärmerückgewinnung für die maschinelle Belüftung von Klassenräumen, White Paper. RWTH-EBC 2021-005, Aachen.

publications.rwth-aachen.de/record/823899

Kremer M, Rewitz K, Müller D (2022): Bewertung der Wärmerückgewinnung für die maschinelle Belüftung von Klassenräumen mittels dynamischer Simulationsmodelle, White Paper. RWTH-EBC 2022-003, Aachen.

doi.org/10.18154/RWTH-2022-01613

Müller D, Rewitz K, Derwein D, Burgholz TM, Schweiker M, Barday J, Tappler P (2020): Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen.

Report (white paper). RWTH-EBC 2020-005, Aachen. doi.org/10.18154/RWTH-2020-11340

OIB (2023): OIB-Richtlinien und erläuternde Bemerkungen zu den OIB-Richtlinien.

Österreichische Institut für Bautechnik. Mai 2023. oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2023

ÖISS (2023): ÖISS Richtlinien für den Bildungsbau. Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau. Aktualisierte Ausgabe.

Pettenkofer M von (1858): Über den Luftwechsel in Wohnungen. Cotta, München.

Rojas G, Greml A, Pfluger R, Tappler P (2023): Assessing the "sufficient ventilation" requirement for Austrian buildings: development of a Monte Carlo based spreadsheet calculation to estimate airing intervals and mould risk in window ventilated buildings. International Journal of Ventilation, 1-10. doi.org/10.1080/14733315.2023.2198788

Salthammer T, Uhde E, Schripp T, Schieweck A, Morawska L, Mazaheri M, Clifford S, He C, Buonanno G, Querol X, Viana M, Kumar P (2016): Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution. Environment International 94, 196-210.

Shaughnessy R, Haverinen-Shaughnessy U, Nevalainen A and Moschandreas D (2006): The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. Indoor Air 16, 465-468.

Slotsholm A/S (2012): Socio-Economic Consequences of better air quality in primary schools. In collaboration with the Centre for Indoor Environment and Energy at the Technical University of Denmark and the Dream Group.

Tappler P, Muñoz-Czerny U, Damberger B, Hengsberger H, Ringer W, Twrdik F, Torghele K, Kundi M, Wanka A, Wallner P, Hutter HP (2014): Lüftung 3.0. Bewohnergesundheit und Raumluftqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern. FFG, 1. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020 Projektnummer: 819037

UBA (2017): Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden. Teil 1: Bildungseinrichtungen. Hrsg.: Umweltbundesamt Deutschland Dessau-Roßlau.

Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO (2000): The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity. Indoor Air 10, 222-236.

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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at