

Merkblatt zur Dimensionierung von Ventilator-Fensterlüftungssystemen für Klassenräume entwickelt am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz („Mainzer Modell“)

Version 2.2, 05.11.2021, Max-Planck-Institut für Chemie, Hahn-Meitner-Weg 1, 55128 Mainz

1. Übersicht

Seit Sommer 2020 wurden am Max-Planck-Institut für Chemie in Zusammenarbeit mit der IGS Bretzenheim und weiteren Schulen in Mainz verschiedene Ventilator-Fensterlüftungssysteme entwickelt, getestet und in mehreren Hundert Klassenräumen erfolgreich zur Anwendung gebracht (Helleis und Klimach 2021; Klimach und Helleis 2021)(www.ventilation-mainz.de).

Umfangreiche experimentelle Untersuchungen, Messdaten, Modellrechnungen und die praktische Anwendung zeigen, dass Fensterlüften unterstützt durch Abluftventilatoren eine einfache und sehr wirksame Maßnahme zur Erhöhung der Luftqualität in Klassenräumen ist und gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 eingesetzt werden kann. Ventilator-Fensterlüften eignet sich nicht nur hervorragend zur Bekämpfung der COVID-19-Pandemie, sondern auch darüber hinaus für nachhaltiges Lüften in Schulen – energiesparend, ressourcenschonend und klimafreundlich (Helleis et al. 2021a, 2021b; Pöschl et al. 2021; Pöschl und Witt 2021).

Auch nach der Pandemie können die Abluftventilatoren weiter genutzt werden, um die Luftqualität in Klassenräumen hoch zu halten – besonders in schlecht lüftbaren Räumen sowie gegen die Ausbreitung von Erkältungskrankheiten und Grippewellen. Verteilte Absaugvorrichtungen können je nach Bedarf flexibel weiter genutzt, entfernt oder mit anderen Hilfsmitteln kombiniert werden (z.B. mit CO₂-Sensoren), was aufgrund der Modularität und der geringen Kosten leicht machbar ist.

Tabelle 1 bietet einen Überblick über verschiedene Varianten von Ventilator-Fensterlüftungssystemen. Konkrete Angaben und Empfehlungen zu Dimensionierung und Betrieb solcher Systeme finden sich in den nachfolgenden Abschnitten dieses Merkblattes.

Tabelle 1: Verschiedene Varianten von Ventilator-Fensterlüftungssystemen für Klassenräume

Varianten	Erläuterungen
Einfacher Abluftventilator	Kann kontinuierlich oder diskontinuierlich genutzt werden, z.B. mit erhöhtem Luftvolumenstrom während Intensivlüftungsperioden in den Pausen.
Abluftventilator mit Abluftleitung („Mainzer Modell - Basisversion“)	Kann ebenfalls kontinuierlich oder diskontinuierlich genutzt werden, fördert Quell- und Querlüftungseffekte und vermeidet bzw. minimiert potentielle Störungen durch ein direktes Ansaugen von Auftriebsströmen über Heizkörpern an der Fensterfront (gegen „Kurzschlussströme“).
Abluftventilator mit verteilten Abluftleitungen	Verstärkt Quelllufteffekte und sorgt dafür, dass potentiell infektiöse Aerosole gleichmäßig aus dem ganzen Raum entfernt werden (gegen Abkopplung entlegener Bereiche).
Abluftventilator mit verteilten Abzugshauben („Mainzer Modell - Haubenversion“)	Verstärkt die direkte Absaugung potentiell infektiöser Atemluftaerosole, bevor diese in die Raumluft eingemischt werden. Abzugshauben unterstützen die Eindämmung der Pandemie (Verringerung der Infektionswahrscheinlichkeiten) und können danach flexibel weggelassen werden (hilfreich aber nicht erforderlich für gute Luftqualität nach normalen Hygiene- bzw. Arbeitsschutz-Richtlinien).

Sowohl bei freiem Fensterlüften als auch bei der Verwendung von Ventilator-Fensterlüftungssystemen raten wir zur Kontrolle und gegebenenfalls zur Regelung der Raumluftqualität mittels CO₂-Sensoren. Wir empfehlen die Verwendung von Sensoren mit CO₂-Konzentrationsanzeige und Ampel- bzw. Lichtsignalen, um den Lüftungserfolg anzuzeigen und die Veränderung von Infektionsrisiken auch im Detail verfolgen zu können (Helleis et al. 2021a). Damit kann das Einhalten des Leitwerts von 1000 ppm überprüft werden (BAUA ASR3.6 2012; DGUV e.V 2021; Umweltbundesamt 2020) sowie Atemluftanteile in der Raumluft und damit verbundene Infektionsrisiken abgeschätzt werden (Helleis et al. 2021a). Der Leitwert von 1000 ppm entspricht einem Anteil von etwa 1,5% verbrauchter Atemluft in der Innenraumluft. Ausgehend von einem Hintergrundwert von etwa 400 ppm CO₂ in frischer Außenluft und von etwa 40.000 ppm CO₂ in ausgeatmeter Luft, nimmt der Anteil an verbrauchter Atemluft im Innenraum um etwa 1% zu, wenn die CO₂-Konzentration um 400 ppm steigt. Näherungsweise steigen proportional dazu auch die Infektionsrisiken durch Aerosolübertragung (Helleis et al. 2021a; Klimach, Thomas 2020; Lelieveld et al. 2020).

2. Abluftventilator und Zuluftführung (für alle Varianten)

- Wir empfehlen langsam drehende Ventilatoren mit Durchmessern von mindestens 30 cm, besser 35 cm, um die Lärmbelastung niedrig zu halten. Am besten geeignet sind Axialventilatoren, da Radialventilatoren bei geschlossenem Zuluftfenster zu hohen Unterdrücken im Raum führen können (>50 Pa).
- Freiblasend sollten die Ventilatoren Volumenströme von 1600-2000 m³/h erbringen. Im eingebauten Zustand sollte der Volumenstrom pro Person rund 25-40 m³/h betragen, also rund 800-1200 m³/h für typische Klassenräume mit etwa 200 m³ Raumvolumen und bis zu 30 Personen. Bei größeren Räumen und höheren Belegungszahlen empfehlen wir die Anzahl der Ventilatoren mit Abluftleitung zu erhöhen und möglichst gleichmäßig zu verteilen, um eine ausreichende Belüftung sicherzustellen und die Bildung abgekoppelter Bereiche zu vermeiden.
- Die Ventilatoren sollten bezüglich Drehzahl bzw. Volumenstrom einstellbar sein, um im Winter behagliche Verhältnisse mit normgerechten Volumenströmen (ca. 800 m³/h) und im Sommer möglichst hohe Durchsätze zu erreichen. Dafür eignen sich elektronisch kommutierte Ventilatoren (EC) mit eingebauter Drehzahlregelung (z.B. Papst EBM-W3-G300-CK13-32 o.ä.) oder Wechselstrom-Ventilatoren (AC) mit Vorschalt-Inverter (z.B. Dalap RAB TURBO 350 ECO o.ä.).
- Um potentielle Probleme mit Verdunkelung, Denkmalschutz, Wärmeverlusten oder Eingriffen in die Bausubstanz zu vermeiden, sollte der Ventilator in eine Box eingebaut werden, die innerhalb des Klassenraumes ein oder mehrere Kipfenster umschließt (beispielhafte Darstellung in Abbildung 1). Die Fenster sollten mit OL90-Handhebeln ausgestattet sein/werden, um sie nachts schließen zu können. Durch Verwendung transparenter Materialien (z.B. PC-Doppelsteg-Platten) wird der Raum kaum verdunkelt. Alternativ kann der Ventilator in einen Mauerdurchbruch, in eine Fensterscheibe, oder in eine dagegen ausgetauschte Isolierplatte eingesetzt werden. In diesem Fall sollten geeignete Maßnahmen zur Abdichtung außerhalb der Nutzungszeiten getroffen werden.
- Frischluft soll durch ein geöffnetes Fenster in Bodennähe einfließen, sodass sich Konzentrationsunterschiede zwischen Boden und Decke bilden (Quelllufteffekt). Bei niedrigen Außentemperaturen fließt die kalte Außenluft von selbst zu Boden. Dazu reicht ein Fenster, das etwa 10-12 cm offensteht und idealerweise in eine Raumecke zeigt. Nach Möglichkeit sollte eher die Drehfunktion als die Kippfunktion des Fensters genutzt werden - für möglichst direktes Einfließen zum Boden.

- Nach Möglichkeit sollte die Außenluft durch einen möglichst transparenten Vorhang oder Vorbau Richtung Boden geleitet werden (beispielhafte Darstellung in Abbildung 2). So kann im Winter die Behaglichkeit entscheidend verbessert werden - auch im Vergleich zum freien Fensterlüften bzw. Stoßlüften. Im Sommer wird dadurch der Quelllufteffekt gefördert und die Lüftungseffizienz weiter erhöht.
- Für den Einsatz als einfacher Abluftventilator ohne Abluftleitungen wurde von Kollegen am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen und deren Partnern empfohlen (Bodenschatz 2021), stärkere Axialventilatoren mit Volumenströmen bis zu 4000 m³/h ohne Abluftleitungen einzusetzen („Göttinger Modell“; z.B. Ziehl-Abegg FN040-4IH.ZC.V3P6 geregelt durch Potentionmeter 10K/IP54 o.ä.). Im Dauerbetrieb mit ca. 1000 m³/h können solche Abluftventilatoren ähnlich wirken, wie die von uns empfohlenen Ventilator-Fensterlüftungssysteme (inkl. Verdrängungs- bzw. Quelllufteffekt). Im diskontinuierlichen Betrieb mit bis zu 4000 m³/h können sie ähnlich wirken wie Stoßlüften durch weit geöffnete Fenster. Im „Göttinger Modell“ mit Abluftventilatoren ohne Abluftleitungen kann es jedoch auch zu Störungen durch ein direktes Ansaugen von Auftriebsströmen über Heizkörpern an der Fensterfront kommen („Kurzschlussströme“) und zu geringeren Quell- und Querlüftungseffekten. Daher empfehlen wir den Betrieb von Abluftventilatoren mit Abluftleitungen wie in Tabelle 1 und nachfolgend beschrieben („Mainzer Modell“ in Basisversion oder Haubenversion).

3. Abluftventilator mit Abluftleitung („Mainzer Modell – Basisversion“)

- Eine zentrale Abluftleitung führt vom Abluftventilator zur gegenüberliegenden Seite des Raumes. Die Einlassöffnung sollte mindestens einige Meter, am besten über 2/3 bis 3/4 der Zimmerbreite von der Ventilator-Fensterfront entfernt sein (Abbildung 1). Das Absaugen der Abluft aus dem deckennahen Raumbereich gegenüber der Ventilator-Fensterfront soll verhindern, dass der warme Luftstrom von Heizkörpern unter den Fenstern direkt vom Abluftventilator erfasst wird (Vermeidung von Kurzschlussströmen). Zudem werden Quell- und Querlüftungseffekte gefördert.
- Der Durchmesser der zentralen Abluftleitung muss mindestens 30 cm betragen und ist idealerweise an den Durchmesser des Ventilators angepasst.
- Eine passend dimensionierte zentrale Abluftleitung kann nach Bedarf flexibel und modular mit weiteren verteilte Abluftleitungen ergänzt werden, wie im nächsten Abschnitt beschrieben (Ausbau der Basisversion zur Verteilerversion des Mainzer Modells).
- Abluftleitungen können aus Schlauchfolie und Stützgitter gefertigt (www.ventilation-mainz.de) oder als marktübliche Lüftungskomponenten bezogen werden.

4. Abluftventilator mit verteilten Abluftleitungen

- Verteilte Abluftleitungen führen von der zentralen Abluftleitung zu Einlassöffnungen in allen Raumbereiche bzw. über den Sitzplätzen/Bänken im Klassenraum. Dadurch wird der Bildung von Bereichen entgegengewirkt, die von der Lüftung abgekoppelt sind und in denen sich lokal erhöhte Atemluftaerosolkonzentrationen einstellen können.
- Der Durchmesser der Verteilerleitungen muss mindestens 9 cm betragen, wenn keine T-Stücke verwendet werden und die Leitungen jeweils nur zu einer Einlassöffnung führen (keine Abzweigungen zu mehreren Einlassöffnungen). Falls T-Stücke bzw. Abzweigungen zu mehreren Einlassöffnungen eingebaut werden, ist der Durchmesser der Verteilerleitungen auf mindestens

11 cm zu erhöhen und ein pneumatischer Abgleich der Abzweigungen vorzunehmen, um eine gleichmäßige Verteilung der Volumenströme zu ermöglichen.

- Wird die Abluft über mehrere Öffnungen (Schlitze, Löcher) abgesaugt, die längs einer Abluftleitungen platziert sind, sollte die Öffnungsgröße oder deren Anzahl mit zunehmendem Abstand vom Zentralrohr zunehmen, um eine gleichmäßige Absaugung zu gewährleisten (Binder und Renaud 2021).

5. Abluftventilator mit verteilten Abzugshauben („Mainzer Modell – Haubenversion“)

- Abzugshauben werden an den Einlassöffnungen der verteilten Abluftleitungen über den Sitzplätzen bzw. Bänken im Klassenraum angebracht (Abbildung 4). Dadurch tritt zusätzlich zu Quell- und Querlüftungseffekten ein Direktabsaugungs- bzw. Haubeneffekt ein: Potentiell infektiöse Atemluftaerosole werden gezielt erfasst und abgezogen, bevor sie sich im Raum verteilen können, was die Infektionsschutzwirkung des Ventilator-Fensterlüftungssystems nochmals erhöht (Helleis et al. 2021a).
- Die Hauben sollten möglichst nahe an den Sitzplätzen angebracht werden, um einen möglichst großen Anteil der Atemluftaerosol direkt abziehen zu können. Nach bisherigen Erfahrungen empfiehlt die Positionierung von jeweils einer Abzugshaube mit einem Durchmesser von etwa einem halben Meter auf etwa 2.1 m Raumhöhe mittig über der Tischkante zwischen den zwei Sitzplätzen an einer Schulbank (www.ventilation-mainz.de).
- Die Hauben sollten trichterförmig nach unten geöffnet sein, um aufsteigende Abluft zur Absaugöffnung zu leiten (www.ventilation-mainz.de). Sie sollten möglichst transparent, leicht und einfach zu montieren sein, sodass sie je nach Bedarf an den Infektionsschutz flexibel angebracht und wieder abgenommen werden können (COVID-19-Pandemie, Erkältungs- und Grippewellen).

6. Materialien und Montage

In der Stadt Mainz wurden Ventilator-Fensterlüftungssysteme wie oben beschrieben (Haubenmodell oder Basisversion) in über 600 Klassenzimmern von Grundschulen und weiterführenden Schulen installiert und erfolgreich in Betrieb genommen. Die Arbeiten wurden in Zusammenarbeit von Eltern, Lehrern und der Gebäudewirtschaft Mainz durchgeführt. Deutschlandweit wurden schätzungsweise bereits über 2000 Klassenräume mit ähnlichen Systemen ausgerüstet (ventilation-mainz.de/umsetzung.html).

Die Materialien für Ventilator-Fensterlüftungssysteme können von Baumärkten, Online-Shops und anderen kommerziellen Anbietern bezogen werden. Die Montage kann im Selbstbau erfolgen oder von Lüftungsfirmen, Messbaufirmen oder anderen professionellen Anbietern vorgenommen werden (Binder und Renaud 2021)(ventilation-mainz.de/umsetzung.html).

7. Wartung und Hygiene

Nach den bisherigen Erfahrungen mit Ventilator-Fensterlüftungssystemen reicht die übliche Wartung der genutzten Fenster aus, um den hygienischen Anforderungen zu genügen. Die Komponenten sind vollständig im Warmbereich montiert und Kondenswasser wie es bei Klimaanlage oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung auftreten kann, ist durch die räumliche Trennung von Zu-

und Abluft so gut wie ausgeschlossen. Auf Grund der unidirektionalen Strömung ist am Zuluftfenster bzw. in der Zuluftführung keine Kondensation von Luftfeuchtigkeit und somit auch keine Schimmelbildung zu erwarten. Die Situation ist günstiger als bei freiem Fensterlüften, wo sich Zu- und Abluft direkt am geöffneten Fenster mischen und zu Kondensation führen können.

8. Hinweis und Haftungsausschluss

Die hier dargestellten Varianten von Ventilator-Fensterlüftungssystemen wurden zum Selbst- und Nachbau entwickelt. Das Max-Planck-Institut für Chemie hat daran keine finanziellen Interessen. Alle Informationen und Inhalte können kostenfrei über eine Creative Commons Lizenz verwendet werden.

Die Inhalte dieses Dokuments sowie der Webseite www.ventilation-mainz.de wurden nach eigenüblicher Sorgfalt erstellt. Wir übernehmen jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Inhalte. Es wird insbesondere keine Gewähr dafür übernommen, dass die hier beschriebene Abluftanlage die dargestellten Funktionen erfüllt und sich für die dargestellte bzw. beabsichtigte Verwendung eignet. Die Nutzung der Inhalte erfolgt auf eigene Gefahr des Nutzers.

Mit der Bereitstellung der Webseite und Dokumente und durch dessen Verwendung kommt keinerlei Vertragsverhältnis oder sonstige Rechtsbeziehung zustande. Die Inhalte dieser Webseite und der Dokumente werden unter der Creative Commons Lizenz CC BY-SA 4.0 (siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>) lizenziert. Als Quelle ist das Max-Planck-Institut für Chemie anzugeben.

Referenzen

- BAUA ASR3.6. (2012). *Technische Regel für Arbeitsstätten*.
https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-6.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen: 17. Mai 2021
- Binder, M., & Renaud, Y. (2021). *Geprüftes Lüftungsschutzkonzept Modul 1a: Designqualifizierung - Zusammenfassung der Simulationsergebnisse* (Technischer Bericht No. T0003810- 02a). Frankfurt: TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH.
https://www.atmoxchange.de/fileadmin/user_upload/TechnischerBerichtTuevSued_20211006-1.pdf. Zugegriffen: 4. November 2021
- Bodenschatz, E. (2021, Januar 21). Wie wird ein Klassenraum mit wenig Kosten und Wartungssorgen Corona sicher? (privat per E-Mail)
- DGUV e.V, D. G. U. (2021). #LüftenHilft. <https://www.dguv.de/lueftenhilft/index.jsp>. Zugegriffen: 4. November 2021
- Helleis, F., & Klimach, T. (2021, Mai). Lüftung von Schulräumen -ein „frischer“ Blick von draußen.
https://ventilation-mainz.de/lowcostVent_MPIC_german.pdf. Zugegriffen: 18. Mai 2021
- Helleis, F., Klimach, T., & Pöschl, U. (2021a). *Vergleich von Fensterlüftungssystemen und anderen Lüftungs- bzw. Luftreinigungsansätzen gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5070422>
- Helleis, F., Klimach, T., & Pöschl, U. (2021b, September 28). *Lüftung von Schulräumen - ein frischer Blick von draußen*. Gehalten auf der 59. Sitzung der IRK-UBA (Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamt), Online Veranstaltung. https://ventilation-mainz.de/HelleisP%C3%B6schl_VentilationWRG_MPIC_IRK-2021-09-28_print.pdf. Zugegriffen: 29. Oktober 2021

- Klimach, T., & Helleis, F. (2021, Januar). Vorläufige Dokumentation Abluftanlage für Klassenräume. https://ventilation-mainz.de/Doku_L_ftung_20210121.pdf. Zugegriffen: 18. Mai 2021
- Klimach, Thomas. (2020). Risk calculator. online calculator. <https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator>. Zugegriffen: 5. November 2021
- Lelieveld, J., Helleis, F., Borrmann, S., Cheng, Y., Drewnick, F., Haug, G., et al. (2020). Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 8114. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218114>
- Pöschl, U., Helleis, F., Klimach, T., Hopfe, C., McLeod, R., Hoffmann, B., & Witt, C. (2021, September 30). Wissenschaftliche Stellungnahme und Empfehlung für Ventilator-Fensterlüften zum Infektionsschutz gegen die Aerosolübertragung von COVID-19 und für erhöhte Luftqualität in Klassenräumen. <https://www.mpic.de/5040628/statement-empfehlung-fensterlueften>. Zugegriffen: 28. Oktober 2021
- Pöschl, U., & Witt, C. (2021, Juni 29). Stellungnahme zur Wirksamkeit und Nutzung von Gesichtsmasken gegen COVID-19. <https://www.mpic.de/4972415/stellungnahme>. Zugegriffen: 30. Juli 2021
- Umweltbundesamt. (2020, Oktober 15). Richtig Lüften in Schulen. *Umweltbundesamt*. Text, Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen>. Zugegriffen: 4. Juli 2021
- ventilation-mainz.de. (2021). Umsetzung der Low-Cost-Abluftanlage. <https://ventilation-mainz.de/umsetzung.html>. Zugegriffen: 7. Oktober 2021



Abbildung 1: CAD-Modell einer Ventilatorbox gebaut aus Polycarbonat Doppelstegplatten und Alu-Eckprofilen für Denkmalschutz- und Wärmeschutz kompatiblen Anschluss des Abluftventilators an ein Kippfenster. Das Fenster bleibt voll funktionsfähig und kann über die vorhandenen OL90 Fernbedienung außerhalb der Unterrichtszeit geschlossen werden, so dass kein zusätzlicher Wärmeverlust entsteht.



Abbildung 2: CAD Modell eines beweglichen (rollbaren) Vorbaus, gebaut aus Polycarbonat Doppelstegplatten, Alu-Eckprofilen und Möbelrollen zur Denkmalschutz-, Wärmeschutz- und Behaglichkeits-kompatiblen Einleitung der Frischluft von einem Fenster auf den Boden (vollständig oder partiell geöffnete Drehfenster oder Kippfenster). Das Fenster bleibt voll funktionsfähig und kann außerhalb der Unterrichtszeit geschlossen werden, so dass kein zusätzlicher Wärmeverlust entsteht.

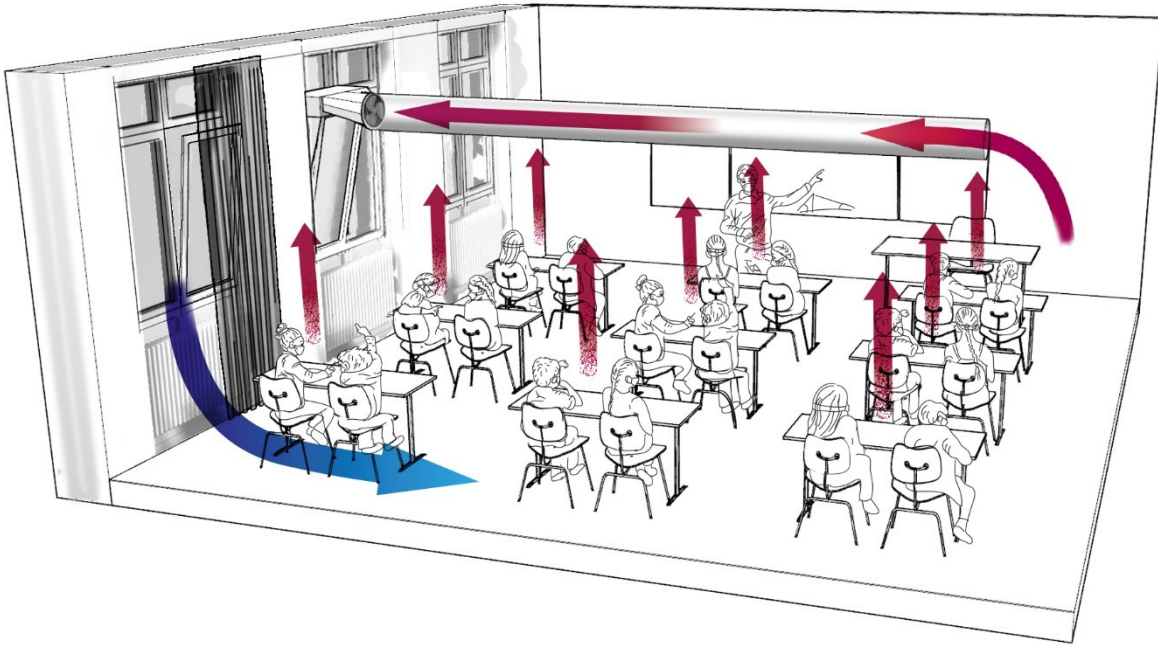


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Ventilator-Fensterlüftungssystems mit Abluftleitung („Mainzer Modell - Basisversion“) (ventilation-mainz.de).

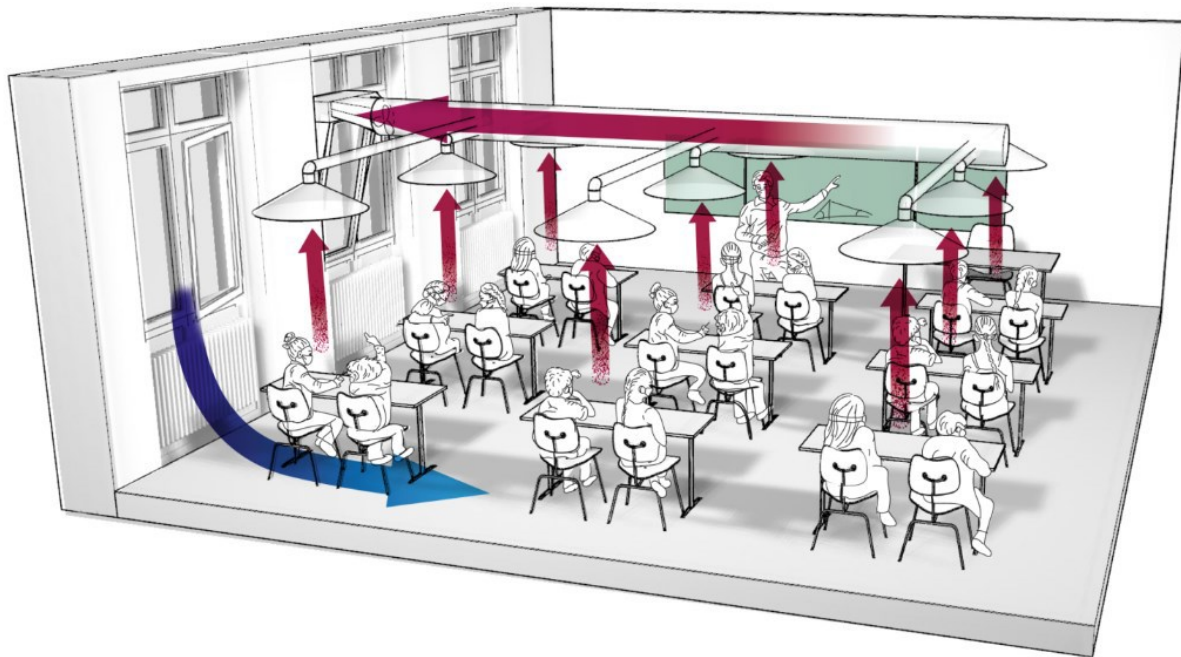


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Ventilator-Fensterlüftungssystems mit verteilten Abzugshauben („Mainzer Modell - Basisversion“) (ventilation-mainz.de).