Kommentare zur Stellungnahme von Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup, Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel, Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller und Prof. Dr.-Ing. Ulrich Pfeiffenberger vom 26.11.2020, verlinkt als „Kurzfassung" auf der Webseite des Fachverbandes Gebäude-Klima e.V.

Zitate aus dem Originaldokument *kursiv*, unsere Kommentare in Blau.

„Kritische Auseinandersetzung mit dem Konzept einer günstigen „Abluftanlage für Klassenräume" des Max-Planck-Instituts für Chemie (MPI)"

Die vom MPI entwickelte Abluftanlage soll ausgeatmete Luft, die möglicherweise Viren oder Bakterien enthält, gezielt mit Hilfe von im Raum verteilten Abzugshauben über Personen, die an Tischen sitzen, aufnehmen. Die Abluft gelangt über Verbindungsrohre in ein Zentralrohr und wird mit Hilfe eines Ventilators durch ein gekipptes Fenster nach draußen geführt. Die Abluftanlage kann aus Komponenten aus dem Baumarkt erstellt werden und wird an der Decke und einem Fenster befestigt. Folgende Punkt werden bei diesem Lüftungskonzept für Klassenräume kritisch bewertet:

- *„Virenbelastete Aerosole befinden sich nicht zwangsweise in der Auftriebsströmung über einer Person. Allein über die Atmung können die Aerosole im gesamten Raum verteilt werden, zusätzlich kann es durch Querströmungen im Raum zu einer Umlegung der Auftriebsgebiete kommen. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass eine gute Erfassung der kritischen Aerosole im Raum gelingen kann."*

Die Erfassung des Atemwegsaerosols wurde in diversen Experimenten in Abhängigkeit vom Abstand zur Haube und dem Absaugfluss gemessen. Nach unseren aktuellen Messungen mit realen Personen in Klassenräumen und Testräumen gehen wir davon aus, dass in der Schulpraxis im Zeitmittel 30-60% der ausgeatmeten Aerosole direkt erfasst werden. Dieser Effekt ist ausreichend, um das Infektionsrisiko zusätzlich zum reinen Verdünnungseffekt noch einmal etwa zu halbieren. Verglichen mit durch Fensterlüften nach UBA-Empfehlung (2.5-5/h je nach Außentemperatur) und Mischlüftung nach den Vorgaben des FGK (5/h) erreichen wir damit bei nominellen Luftwechselraten von ca. 4/h effektive Luftwechselraten von 8/h, was wir als „herausragend" bezeichnen würden.

- *„Der in der Studie angegebene Volumenstrom für jede einzelne Abzugshaube im Raum ist nicht ausreichend, um selbst im Falle einer optimal ausgerichteten Auftriebsströmung über einer Person die in der Auftriebsströmung vorhandenen Aerosole aufzunehmen. Die Autoren vernachlässigen in ihrer Studie, dass der Volumenstrom in einer Auftriebsströmung auf dem Weg zur Abzugshaube deutlich zunimmt. Dieser Effekt basiert auf der nicht zu verhindernden Einmischung von Raumluft in den Auftriebsstrahl. Für eine effektive Absaugung müsste der Volumenstrom signifikant erhöht werden, da sich ansonsten eine turbulente Vermischung im gesamten Raum einstellt, die eigentlich durch die vorgestellte Anlage verhindert werden soll."*

Es ist davon auszugehen das auch in unseren Experimenten der Auftriebsvolumenstrom mit der Höhe zugenommen hat, ohne dass wir ihn

explizit darum gebeten haben. Die von uns experimentell ermittelten Direktabsaugungseffizienzen liegen in der Praxis bei 30-60%, damit lässt sich die Konzentration infektiösen Atemwegsaerosols um bis zu einen Faktor 2.5 senken, bzw. man bräuchte mit Mischlüftung eine 2.5fach höhere Luftwechselrate, also z.B. 10 statt 4/h. Die Effizienz reicht also bei weitem aus, um die Anforderungen des Fachverbandes Gebäude-Klima (FGK) an Standard RLT (5/h) weit übertreffen zu können.
Die Anlage soll nicht turbulente Mischung im Raum verhindern, das kann physikalisch nicht funktionieren, sondern sie soll Schadstoffe quellennah absaugen, bevor sie turbulent in den Raum eingemischt werden.

- *„Da es sich bei dem gezeigten Konzept um eine reine Abluftanlage handelt, muss Außenluft in den Raum durchgehend nachströmen können. D. h., mindestens ein Fenster muss in dem Raum durchgängig geöffnet sein. Es ist zu befürchten, dass insbesondere bei niedrigen Außentemperaturen im Bereich dieser Nachströmung sehr unbehagliche Zustände auftreten. Außerdem können durchgehend akustische Belastungen aus der äußeren Umgebung (Straßenlärm etc.) in den Klassenraum eindringen. Eine Zuströmung über Flurtüren ist keine Alternative, da auch diese Luft von außen zugeführt werden müsste, verbunden mit weiteren Problemen geöffneter Türen (z.B. Akustik, Brandschutz). Dieses Konzept des MPI ist daher in Bezug auf diese Effekte schlechter als eine Umsetzung einer Stoßlüftung gemäß den Angaben des Umweltbundesamtes zu bewerten."*

Im Selbstversuch konnten wir bei Außentemperaturen bis 0°C kein Behaglichkeitsproblem feststellen, insbesondere nicht mit durch Folie oder Vorhänge abgedeckte Zuluftfenster. Die Vergleichsmessungen zu Stoß- und Dauerlüften haben klare hygienische und behagliche Vorteile für die Dauerlüftung nachgewiesen. Die Raumtemperatur sinkt nicht mehr unter 20°C, die Schüler an der Fensterfront sitzen nicht mehr an weit geöffneten Fenstern in direkt einströmender Kaltluft, der Quellluftteffekt senkt Schadstoffkonzentrationen um weitere 25-50%.
Die Lärmbelastung ist bei einem abgedeckten spaltoffene Fenster in unserem Messraum auch für Nichtexperten nachvollziehbar wesentlich geringer als bei mehreren weit offenen Fenstern (Stoßlüftung), die man insbesondere bei geringeren Temperaturunterschieden in Herbst, Frühjahr und insbesondere im Sommer wesentlich länger als 5 min offenstehen lassen muss.
Auch wir sehen die Zuluft durch die Tür wegen Brandschutz, Lärmbelastung, Querkontamination, Winddruckabhängigkeit und vor allen Dingen der Störung der Auftriebsströmung kritisch und haben sie der Vollständigkeit halber nur für Räume erwähnt, in denen kein zweites Fenster im Raum zu öffnen ist. Die Empfehlung wurde den Internetseiten des Umweltbundesamtes entnommen, das unter gewissen Umständen (gute Querlüftungsmöglichkeiten) Vorteile gegeben sieht.

- *„Der eingesetzte Ventilator kann nur einen sehr kleinen Differenzdruck aufbauen. Daher wird jeder Winddruck auf der Fassade die Strömungsverhältnisse im Klassenraum verändern. Es ist darüber hinaus höchst wahrscheinlich, dass im Einbauzustand der von dem Ventilator geförderte Volumenstrom deutlich geringer ist. Ein sicherer Systembetrieb aus Abluft- oder Absauganlage ist damit nicht gewährleistet."*

Die Leistung des Ventilators reicht im Einbauzustand nach den vorliegenden Messungen nicht nur wahrscheinlich, sondern erwiesenermaßen aus, um die

projektierten nominellen Raumluftwechselraten von > 3/h zu erzielen. Da der Winddruck gleichermaßen auf Zuluft und Abluft wirkt, entsteht bei geschlossener Tür lediglich ein kurzer Transient zum Druckausgleich, wenn, wie in Klassenräumen üblich, die Fenster in einer Fassadenfläche liegen. Für eine Änderung des Winddrucks um 100Pa (sehr unwahrscheinlich; Windgeschwindigkeit ~45km/h), würde sich ein ausgetauschtes Volumen von ca. 100l im Zu- und Abluftbereich ergeben. Dies entspricht dem Umsatzvolumen der Anlage innerhalb von ca. 0.5s. Da für die Reduktion des Infektionsrisikos durch Atemwegsaerosole nur die über Stunden inhalierte Dosis relevant ist, ist der sichere Systembetrieb also jederzeit gewährleistet.

- *„Die Lösung des MPI kann weder als nachhaltig noch als wirtschaftlich bezeichnet werden. Die gezeigte Installation wird unter den rauen Bedingungen des Schulalltags nur eine begrenzte Lebensdauer besitzen und das System verfügt über keine Wärmerückgewinnung. Werden auch die Bau- und Installationskosten berücksichtigt, ist bei der kurzen Nutzungszeit des Systems kein wirtschaftlicher Betrieb zu erwarten."*

Aufgrund der nachgewiesene Direktabsaugung und des Quellluftteffekts kann das System bei vergleichsweise niedrigen nominellen Raumluftwechselraten betrieben werden. Dadurch ergibt sich rechnerisch eine entsprechende Energieeinsparung gegenüber Fensterlüftung.
Die eingesetzten Materialen (PE/PP) sind durchaus robust und überdauern in der Natur (Wälder, Weltmeere) mehrere Jahre. Sie sind sortenrein zu 100% direkt recyclingfähig. Hygieneinspektionen, Wartung und Filterwechsel entfallen. Die Betriebskosten liegen unter der eines einzigen Leuchtmittels. Reparaturen sind durch die offenen Steckbauweise sogar durch die Nutzer durchführbar.
Wir haben nach eigenen Rechnungen und beim Literaturstudium festgestellt, dass das Energieeinsparpotential durch Nachrüstung von (de)zentraler Raumlufttechnik mit Wärmerückgewinnung in Schulen marginal, wenn nicht negativ ist (Helleis/Klimach 2021, El Fouih 2012, Kaup 2019). Das liegt an dem hohen Leerstand der Gebäude (> 80%), der hohen Personendichte im Raum (~ 0.5p/m²) und damit hohen Wärmegewinnen, dem Tagesbetrieb, fehlenden Feuchtelasten, so dass die Infiltration zum Feuchteschutz ausreicht, und den Empfehlungen der Hersteller, die Anlagen aus hygienischen Gründen durchlaufen zu lassen, so dass auch außerhalb der Nutzungszeiten Energiebedarfe generiert bzw. Verluste „erwirtschaftet" werden.
Der Anteil der mit Raumlufttechnik ausgerüsteten Schulen liegt in Deutschland derzeit bei ca. 10%. Wären kommerzielle Lüftungssysteme wirtschaftlich zu betreiben, wären sie längst in der Fläche umgesetzt worden.

- *„Da das System aus Kunststoff hergestellt wird, ist eine erhöhte Brandlast im Klassenraum zu erwarten. Zudem erzeugt selbst der Brand von Kunststoffen eine erhebliche Rauchentwicklung."*

Die eingesetzten Materialen (PE/PP) sind hinsichtlich der Brandlast vergleichsweise unkritisch und werden in Klassenräumen oftmals in weit höherer Menge in Stuhllehnen und Sitzflächen verbaut. Im Brandfall würden sie ähnlich wie Kerzenwachs abbrennen und sind damit typischen im professionellen Lüftungsbau verwendeten Kunststoffen wie PVC, Polyurethan und Polyester bezüglich toxischer Rauchentwicklung weit überlegen.
Die zusätzliche Brandlast durch die Anlage beläuft sich auf ca.15kg. Dies liegt weit unter der Brandlast, die von Schülern typischerweise in Form von Kleidung, Taschen und Unterrichtsutensilien (> 200kg) in den Klassenraum eingebracht wird. Da es deswegen im Klassenraum keine gesetzliche

Brandlastbeschränkungen gibt, bewerten alle uns vorliegenden Brandschutzgutachten die Anlage als unbedenklich.

> *„Aufgrund der genannten Punkte kann der Aufbau und der Betrieb der "Abluftanlage für Klassenräume" des Max-Planck-Instituts für Chemie (MPI) nicht empfohlen werden. Bereits mit einer konsequenten Umsetzung einer regelmäßigen Stoßlüftung gemäß der Lüftungsregeln des Umweltbundesamtes können wahrscheinlich bessere Luftwechselraten bei höherem Komfort erreicht werden. Für eine sichere, komfortable und energieeffiziente Lüftung von Klassenräumen sollten marktübliche raumlufttechnische Anlagen verwendet werden."*

Nach unseren Vergleichsmessungen und Rechnungen kann selbst bei konsequenter Umsetzung der Stoßlüftung nach den Regeln des Umweltbundesamts die Leistung einer Ventilator-gestützten Fensterlüftungsanlage mit Quelllufteinlass und verteilter Absaugung bei weitem nicht erreicht werden.
Wir möchten betonen, dass unsere Anlage mit ausgefeilter marktüblicher Raumlufttechnik nicht vergleichbar ist. Besonders was Wirtschaftlichkeit und Hygiene angeht, liegt die von uns vorgeschlagene Lösung mit der Kombination aus normgerechter nomineller Luftwechselrate, Quelllüftungseffekt und Direktabsaugungseffekt klar vorne.
Dass unser Konzept vom Fachverband Gebäude-Klima e.V. nicht empfohlen werden kann, war zu erwarten. Bemerkenswert ist allerdings, mit welcher Vehemenz es kritisiert wird.

Mainz, 22.07.2021

Dr. Frank Helleis und Dr. Thomas Klimach, MPI-C

(Version 1.0: 07.12.20; Version 1.1: 22.07.21)