



CoopGo.consulting eG

vormals WirMarkt eG

## Empfehlung für Raumlufthygiene

unter Berücksichtigung der Beseitigung von Covid-Viren

für die

## Markgrafenschule Freiburg-Tiengen

verantwortlicher Berater

Bodo Frommelt

erstellt am

23. Juli 2021

Stand

03.08.2021

Auftraggeber:

Liste

## Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	3
2 Vorgehen und Methodik.....	3
2.1 Aufgabe.....	3
2.2 Ziele.....	4
2.3 Methodik.....	4
3 Maßnahmenübersicht.....	4
3.1 Allgemeine Maßnahmen.....	4
3.2 Technische Verfahren.....	5
3.2.1 Filterung.....	5
3.2.2 Behandlung mit UV-C-Licht.....	6
3.2.3 Plasma und Ionisation.....	6
3.2.4 Photokatalyse.....	6
3.2.5 Ozonbehandlung.....	7
3.3 Generelle Eignung der Verfahren.....	7
4 Raumsituation.....	9
4.1 Maße und Fenster.....	9
4.2 Volumenstromberechnung je Raumgruppe nach Monaten.....	11
4.2.1 Raumgruppe UG 02-04.....	11
4.2.2 Raumgruppe EG 02-04.....	12
4.2.3 Raumgruppe EG 07-08 EG.....	13
4.2.4 Speiseraum UG 70m <sup>2</sup> /200m <sup>3</sup> , Kippfenster 15m <sup>2</sup> , Personen 35.....	14
4.2.5 Betreuungsraum.....	14
4.2.6 Lehrerzimmer.....	15
4.3 Toiletten.....	15
4.3.1 2 x Raum 32m <sup>3</sup> , Kippfenster 2,5m <sup>2</sup> .....	15
5 Lufthygienekonzept.....	15
5.1 Lüftung über Fenster.....	16
5.2 Technische Ergänzung.....	16
5.2.1 Optimalleistung.....	17
5.2.2 Minimalleistung.....	17

5.2.3 Alternative Betrachtung HEPA-Filtergeräte.....18

5.2.4 Abschließende Technikempfehlung.....18

6 Anhang.....19

6.1 Quellennachweise.....19

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Raumgruppentabelle mit Bemaßung.....9

Tabelle 2: Fenstersituation nach Raumgruppen.....11

Tabelle 3: Lüftungsbedarf nach Raumgruppen mit Leistungsbedarf zur Unterstützung.....16

Tabelle 4: Kalkulation für die optimal erforderliche Geräteleistung.....17

## **1 Zusammenfassung**

Auf Wunsch der Eltern sollen in der Markgrafenschule Tiengen Geräte zur Verbesserung der Lufthygiene eingesetzt werden. Dafür wurde die Raumsituation in Bezug auf Volumen, Nutzung und Fensterausstattung erfasst und mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse von FhG IBP Stuttgart/Valley und Technischen Hochschule Rosenheim zur Raumlufthygiene entsprechende Vorschläge zur Verbesserung der Raumlufthygiene erarbeitet. Im Rahmen der Gesamtbetrachtung wurden die generelle Eignung technischer Verfahren, die Eignung in Schulräumen und die wirtschaftlichen Rahmendaten als geeignet identifizierter Geräte in die Beurteilung einbezogen. Die Beurteilung wurde fachlich von der TH Rosenheim unterstützt.

Als Ergebnis wird ein Raumluft-Hygienekonzept empfohlen, das auf regelmäßige Belüftung über Fenster setzt und um UV-C-Luftreinigungsgeräte ergänzt wird. Alle anderen Verfahren sind entweder im Schulumfeld ungeeignet und/oder verursachen nicht vertretbare Folgekosten. Die Dimensionierung der Geräte richtet sich nach dem zur regelmäßigen Lüftung über Fenster zusätzlich erforderlichen Bedarf an gereinigter Luft.

Die Investitionskosten betragen bei einer Minimalausstattung ca. 14.400,-€, die Folgekosten in 5 Jahren Betriebszeit belaufen sich auf ca. 7.000,-€

## **2 Vorgehen und Methodik**

### **2.1 Aufgabe**

Aufgabe vorliegender Empfehlung ist die gesamtheitliche Beurteilung der Raumlufthygienesituation in Bezug auf durch direkt und über Aerosole übertragene Krankheitskeime, insbesondere Covid-Viren. Aus der Beurteilung soll ein Vorschlag entstehen, wie die Raumlufthygiene kurzfristig so verbessert werden kann, dass das Ansteckungsrisiko signifikant sinkt.

Neben der reinen Raumluftbeurteilung spielen jedoch noch die Aspekte Lärm und Sicherheit eine entscheidende Rolle. Für einen erfolgreichen Unterricht ist es entscheidend, dass die Konzentrationfähigkeit der Schüler jederzeit erhalten bleibt. Da die Geräte überwiegend in Räumen stehen, die Schülern im Alter ab 6 Jahren frei zugänglich sind, ist auch der Schutz gegen unbefugtes Öffnen sowie der Schutz vor unerwünschten anderen Wirkungen (Geruchsbildung, Schadstoffe) ganz besonders zu beachten.

Die Beurteilung umfasst alle Klassenräume im Untergeschoss und Erdgeschoss, das Lehrerzimmer und den Raum für die Verpflegung mit Essen.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen setzen sich aus klassischen Lüftungsvorschlägen und technischen unterstützenden Maßnahmen zusammen. Dabei werden möglichst alle am Markt verfügbaren Techniken berücksichtigt und die in der Summe wirksamsten und wirtschaftlichsten Maßnahmen vorgeschlagen. Basis der Auswahl sind Systeme, für die der Nachweis ausreichender Minderung der Keimbelastung ohne gesundheitsgefährdende Nebenwirkungen erbracht wurde.

Nicht zu den Aufgaben vorliegender Empfehlung gehört die Begutachtung und Ertüchtigung im Gebäude fest installierter allgemeiner Lüftungssysteme. Solchermaßen mit Luft versorgte Räume werden nicht berücksichtigt.

## 2.2 Ziele

Das Ziel der vorliegenden Empfehlung ist es, die Raumlufthygiene in den Räumen so zu verbessern, dass die Infektionsgefahr insbesondere mit Covid-19 und ggf. anderen über die Luft übertragenen Krankheitserregern so vermindert wird, dass das Ansteckungsrisiko bei längerem Aufenthalt in den Räumen signifikant verringert wird.

## 2.3 Methodik

Die Beurteilung erfasst die Raumvolumina, die übliche Anzahl der Raumnutzer, die öffenbaren Fenster und ihre Öffnungsart und ggf. weitere strukturelle Besonderheit den Räume.

Wo möglich, werden die Räume in vergleichbare Raumkategorien eingeteilt und für jede Raumkategorie der mit konventioneller Belüftung erzielbare Volumenstrom je Monat berechnet. Diesem Volumenstrom wird der tatsächlich minimal und optimal erforderliche Volumenstrom gegenübergestellt. Aus der maximalen Differenz der monatlichen Berechnungen ergibt sich die erforderliche Gerätekapazität.

Für die Geräteempfehlung werden, wie unten erläutert, nur Geräte herangezogen, die den Nachweis der praktischen Wirksamkeit in unabhängigen Beurteilungen erbringen konnten. Sind Geräte technisch gleichermaßen geeignet, werden alle geeigneten Geräte genannt und das oder die wirtschaftlichsten hervorgehoben. Dies ist aufgrund der aktuell teilweise schwierigen Liefersituation erforderlich.

# 3 Maßnahmenübersicht

## 3.1 Allgemeine Maßnahmen

Lüften über Fenster ist nach Auffassung der Mehrheit der Raumlufspezialisten eine sehr wirksame Maßnahme, über Luftaustausch die allgemeine Virenbelastung zu verringern und Orte besonderer Konzentration aufzulösen. Zu beachten ist dabei, dass im Winter dabei kalte Luft in die Räume strömt und schlimmstenfalls das Raumklima für sitzende Arbeiten (Büro, Schule etc.) sehr schnell zu kalt werden kann. Im Sommer besteht dagegen die Gefahr, dass der Luftaustausch zu gering ist, da die Temperaturgegensätze zwischen Raum- und Außenluft zu deutlich geringeren Luftströmungen führen. In jedem Fall ist bei widrigen Wetterverhältnissen im Sommer wie im Winter nur ein kurzes oder auch gar kein Lüften möglich.

Als normale Kennzahl wird dabei der nutzungsabhängige Volumenbedarf an Frischluft pro Person zugrunde gelegt mit einem Minimal- und einem Optimalwert, der bei jeder Berechnung angegeben wird. Multipliziert mit der Personenzahl ergibt diese die erste Kennziffer des Frischluftbedarfs im Raum. Dem wird die Lüftungsmöglichkeit im Raum abhängig von der Fensterfläche, der Öffnungsart (ganz oder gekippt) der Belüftungsdauer und der Fensterlage (Stoßlüftung oder Querlüftung) gegenüber gestellt.

Bei der Beurteilung der Raumluftsituation gehen wir daher bei Stoßlüftung von einer durchschnittlichen Belüftungsdauer von 10 Minuten je Stunde aus, die auf mehrere kurze Abschnitte verteilt wird. Ausgehend von der Norm DIN EN 16798-7:2017 wird bei der Querlüftung bereits bei geringen Windgeschwindigkeiten schon das fünffache des Luftvolumens bei Stoßlüftung erreicht. Auf Grund der höheren Luftwechselrate bei Querlüftung deshalb wurde als vorsichtige Näherung der Wirklichkeit für die Berechnung die doppelte Lüftungszeit je Stunde angenommen, obwohl gleiche Lüftungszeiten empfohlen werden, da das Berechnungstool nur auf Stoßlüftung ausgelegt ist.

Auf die so gewonnenen Werte werden die technischen Ergänzungsmaßnahmen ausgelegt. Dabei wird für die Kapazitätsberechnung der Geräte die notwendige Mindestmenge an Luftdurchsatz (minimaler Volumenstrom) herangezogen, der um einen Zuschlag ergänzt wird, der auch Zeiten geringerer externer Lüftungsmöglichkeiten abpuffern kann. Des Weiteren wird der Standort im Raum (Boden, Decke) und die Gerätezahl berücksichtigt, da beides die Wirksamkeit der Luftbehandlung beeinflusst, was in Kapitel 3.3 näher spezifiziert wird.

## 3.2 Technische Verfahren

### 3.2.1 Filterung

Bei der Raumlufthygiene, die auch aerosolgebundene Viren betrifft, kommen als Filter ausschließlich solche nach der Norm DIN EN1822, HEPA 13 und HEPA 14 in Frage, die Schwebstoffe (Partikel < 1 µm) zu einem Gesamtabseidegrad von mindestens 99,95 % (HEPA14) bzw 99,995% (HEPA14) filtern. Die Abkürzung steht für „High-Efficiency Particulate Air/Arrestance“, also hochwirksame Schwebstofffilter. Diese Filter wurde ursprünglich für Reinlufräume in Forschung und Produktion entwickelt, wo keine luftverschmutzenden Partikel auftreten dürfen (z.B. Pharmazie, Chip-Produktion etc.).

Zur Virenbeseitigung wird davon ausgegangen, dass mit dem Filtrieren der Aerosole auch die Viren aus der Luft entfernt sind, was vom Institut für Bauphysik (IBP) der Fraunhofer-Gesellschaft in realitätsnahen Versuchsreihen mit unterschiedlichen Geräten nachgewiesen wurde. Damit ist dieses Filtersystem grundsätzlich zur Virenbeseitigung in der Luft geeignet.

Aufgrund der Bauweise mit den sehr dichten Filtern ist ein sehr hoher Luftdruck im Gerät erforderlich, um einen ausreichenden Luftstrom nach außen zu erzeugen. Deshalb sind diese Geräte in aller Regel mit sehr starken Ventilatoren ausgestattet, die entsprechend Lärm erzeugen und einen relativ hohen Stromverbrauch haben.

Ein weiteres Problem ist der regelmäßige Filterwechsel. Nach den Empfehlungen der Spezialisten sollten Filter alle 6-12 Monate auf Filterlöcher überprüft und spätestens alle 12 Monate gewechselt werden. Sind keine (aufwendigen) Filtertests durch Spezialisten möglich, sollte der Filterwechsel bei Virenbelastung möglichst alle 6 Monate erfolgen. Beim Filterwechsel selbst ist zu beachten, dass einerseits noch gehäuft vermehrungsfähige Viren im Filter sein können und sich ggf. auch Bakterienkolonien bilden können. Deshalb wird dringend empfohlen, Filter nur mit Schutzausrüstung zu wechseln.

### 3.2.2 Behandlung mit UV-C-Licht

UV-C-Licht einer Wellenlänge von 100 – 280 nm hat desinfizierende Wirkung, da sie in organischen Molekülen zu Ionisation und Anregung führen, wodurch Kohlenstoffbindungen aufgebrochen werden. DNA-Bestandteile werden insbesondere im Bereich um 260nm aufgebrochen und so zerstört. Dies gilt prinzipiell für alle Lebewesen, weshalb UV-C-Licht auch für Mensch und Tier gefährlich ist. Durch diesen Wirkmechanismus ist auch keine Resistenzbildung möglich.

Aufgrund der Gefährlichkeit darf UV-C-Licht nur in komplett lichtdicht geschlossenen Gehäusen eingesetzt werden. Optimal sind Gehäuse, die die Stromzufuhr automatisch abschalten, sobald das Gehäuse geöffnet wird.

UV-C-Lampen halten üblicherweise zwischen 2 und 3 Jahren, ehe sie gewechselt werden müssen. Sie verlieren im Lauf des Betriebs ein wenig an Leuchtkraft und sollten ein- bis zweimal im Jahr gereinigt werden, um Staubanlagerungen zu entfernen. Ansonsten sind die Leuchtmittel wartungsfrei.

Filter werden in UV-C-Geräten nicht oder nur als Grobfilter gegen die Staubanlagerungen eingesetzt. Diese Filter sind etwa im gleichen Zeitraum wie die Lampen zu wechseln und bilden nur eine schwache Luftbarriere, weshalb die Ventilatoren erheblich weniger Leistung aufweisen müssen, um einen den Filtergeräten entsprechenden Luftwechsel im Raum zu bewirken. Sie sind in aller Regel damit auch deutlich leiser.

### 3.2.3 Plasma und Ionisation

In Plasmageräten wird die Luft zwischen zwei Elektroden in den Plasmazustand versetzt. Beim Übergang in den Plasmazustand (4. Aggregatzustand) werden in der Luft enthaltene Atome in Atomkerne und Elektronenhüllen zerlegt und so auch Moleküle zerlegt und umgebaut. Dabei werden neben flüchtigen Stoffen auch Keime verändert. Als Abbauprodukt kann Ozon entstehen, welches ab einer gewissen Konzentration gesundheitsschädlich ist.

Laut Umweltbundesamt (UBA) ist eine ausreichende Wirkung auf Covid-Viren bisher nicht nachgewiesen. Vergleichbar zu UV-C-Geräten ist kein Filter notwendig, so dass auch hier die Ventilatoren weniger Leistung benötigen und leiser sind als bei Filtergeräten. Wartung ist praktisch nicht notwendig.

### 3.2.4 Photokatalyse

Die Photokatalyse beruht auf einem ähnlichen Prinzip wie die Bestrahlung mit UV-C-Licht. Allerdings wird hier das langwelligere und damit praktisch unschädliche UV-A-Licht mit Wellenlängen über 300 nm eingesetzt. Zusammen mit dem Katalysator  $\text{TiO}_2$  werden so organische Bestandteile aufgebrochen und letztlich in  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  zerlegt.

Allerdings legen jüngste Untersuchungen nahe, dass  $\text{TiO}_2$  krebserregend sein kann und insbesondere auch das Immunsystem schädigt.  $\text{TiO}_2$  löst sich in geringen Mengen aus dem Trägermaterial des Katalysators und kann so in die Raumluft geraten.

Der Luftdurchsatz kann durch die Anordnung der Katalysatoren etwas gehemmt werden. Für die Ventilatoren gilt das oben für UV-C gesagte in etwas reduzierter Form, sofern keine Hepa-Filter gegen  $\text{TiO}_2$ -

Staub eingesetzt werden. Das Verfahren legt nahe, dass damit auch Covid-Viren zerstört werden. Allerdings liegen über die ausreichende Wirksamkeit der Geräte noch keine validierten Ergebnisse vor.

### 3.2.5 Ozonbehandlung

Ozon ist ein Reizgas und reagiert ebenfalls mit organischen Substanzen. Dabei können unbekannte und unerwünschte Folgeprodukte entstehen. Deshalb rät das UBA grundsätzlich von deren Einsatz zur Raumlufthygiene ab.

## 3.3 Generelle Eignung der Verfahren

Die Ozonbehandlung scheidet als Anwendung infolge des gesundheitlichen Risikos gem. UBA-Empfehlung grundsätzlich aus.

Plasma, Ionisation und Photokatalyse sind grundsätzlich geeignet, scheiden derzeit allerdings aufgrund fehlender Wirkungsnachweise ebenfalls aus. Dies kann sich vor allem bei der Photokatalyse noch ändern, da hier entsprechende Praxistests geplant sind.

UV-C und HEPA-Filter sind als Verfahren beide praxisnah im Labor Valley der Fraunhofer-Gesellschaft IBP (FhG IBP) untersucht worden. Die Ergebnisse zeigen, dass damit innerhalb von 30 Minuten eine vorhandene Virenlast im Raum deutlich unter 50% gesenkt werden kann und innerhalb 1 bis 1 ½ Stunden > 99% aus der Raumluft entfernt wird.

Deutliche Unterschiede gibt es in Bezug auf Sicherheit, Lärm und Wirtschaftlichkeit:

Bei der Sicherheit ist zu beachten, dass beide Systeme besonders in öffentlich zugänglichen Räumen und insbesondere Klassenzimmern so installiert werden sollten, dass sie nicht direkt erreichbar sind. Auch aus strömungstechnischen Gründen sollten die Geräte möglichst hoch an Decke oder Wand montiert werden. Bei manchen Standgeräten ist dies bauartbedingt nicht möglich, so dass diese für Klassenräume ungeeignet sind. Vor allem bei Filtergeräten besteht die Gefahr unsachgemäßen Öffnens, so dass die Filter offen liegen und ggf. eine hohe Infektionsgefahr darstellen bzw. beschädigt werden.

Aus strömungstechnischer Sicht ist es nicht ausreichend, den nominalen Luftdurchsatz eines umwälzenden Geräts eins zu eins auf den notwendigen Luftdurchsatz umzusetzen, der für eine wirksame Dekontaminierung erforderlich ist. Da sich im Raum immer saubere mit kontaminierter Luft vermischt, dauert die tatsächliche Dekontaminierung länger als das angegebene Umwälzvolumen je Stunde der Geräte. Außerdem sehen die Testbedingungen nach dem Ausbringen der Viren keine weitere Kontamination vor, was nicht der Realität entspricht, da ein Spreader im Raum kontinuierlich Keime absondert.

Auch durch die punktförmige Verteilung der Virenquellen im Raum kann die Deaktivierung der Viren erheblich länger dauern. Bei Standgeräten am Boden wird daher als Berechnungsgrundlage die mindestens fünffache Luftmenge des Raumvolumens angesetzt. Bei Deckenaufhängung kann dieser Wert bereits reduziert werden, bei mehreren im Raum verteilten Geräten noch stärker, da Teile des Luftvolumens im Raum schneller umgewälzt werden. Darauf deuten erste Untersuchungsergebnisse hin, die mit UV-C-Geräten in 2m Höhe vorgenommen wurden. Diese Versuche zeigten eine weitgehende An-



näherung des Luftdurchsatzes an das tatsächliche Raumvolumen bis auf die nur noch 1,5fache Menge. Wir haben deshalb bei den Deckengeräten die benötigten Umwälzvolumina gegenüber Standgeräten auf 60% reduziert und bei Mehrfachausstattung an der Decke auf 40%.

Beim Lärm sollte der Grenzwert in 1m Abstand deutlich unter 40dB(A) liegen, da bei diesem Wert bereits Lern- und Konzentrationsstörungen auftreten können. Wünschenswert sind Werte bis 35dB(A), die obere zulässige Grenze für Nachtgeräusche in Wohngebieten. Bei UV-C Geräten liegt dieser Wert in aller Regel um zwischen 32 und 38 dB(A), bei HEPA-Filtergeräten liegen diese Werte in den meisten Fällen deutlich über 40dB(A). Grundsätzlich gilt, dass beim mehrfachen Einsatz im Raum der Lärmpegel steigt, weshalb der Schalldruck der Geräte in einem solchen Fall möglichst niedrig sein sollte.

Im folgenden Diagramm ist die Schallausbreitung beispielhaft an dem Filtergerät OurAir 2500 von Mann und Hummel dargestellt. Das Gerät hat ein regelbares Luftvolumen von 250 bis 2.500m<sup>3</sup>/h und auf den Normalbetrieb mit halbem Maximalvolumen ausgelegt. Bei voller Leistung beträgt der Schalldruckpegel in 1m Abstand 60 dB(A) nach Herstellerangaben.

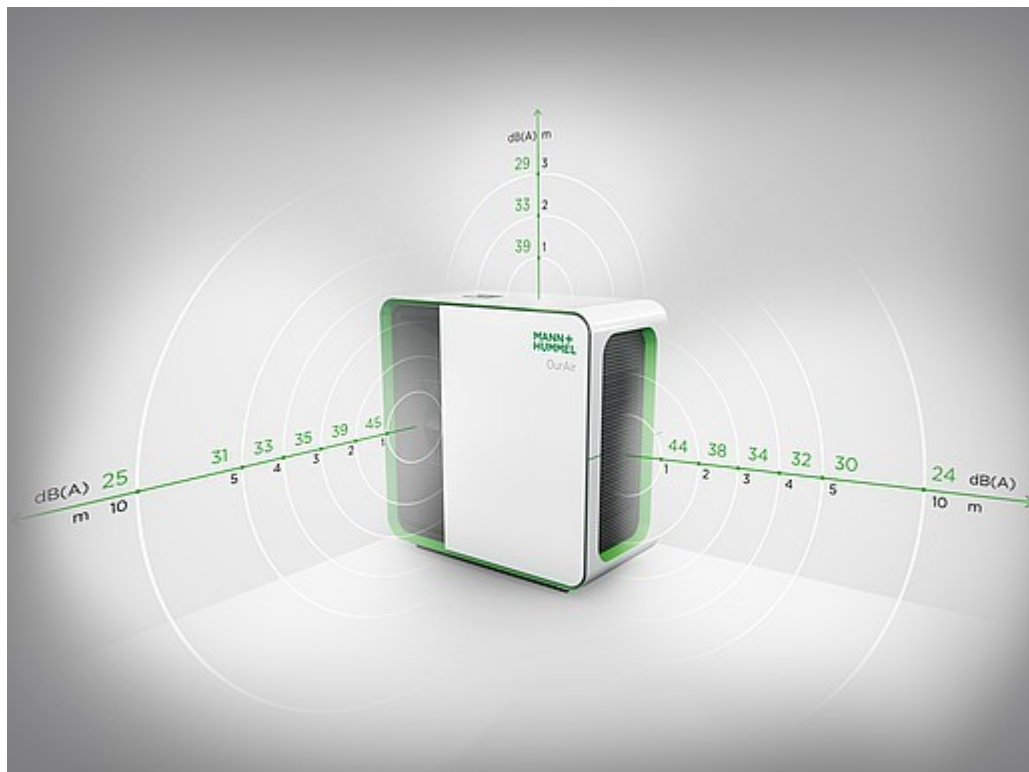


Schaubild 1: Schalldruckpegel in verschiedenen Abständen und Richtungen bei 1.250m<sup>3</sup>/h (gemessen mit Schalldämpfer)

In der Wirtschaftlichkeit erfordern die UV-C-Geräte in aller Regel bei der Beschaffung ein ähnliches Investitionsvolumen wie die Luftfilter. In die Betrachtung sind dabei nur vom FhG IBP geprüfte und empfohlene Geräte eingegangen. Aus eigener Erfahrung erfüllen viele kleine bzw. billige Geräte schon aus den Herstellerangaben ableitbar nicht die Anforderungen zur Raumhygiene in öffentlichen Räumen.

Bezüglich der laufenden Kosten summieren sich die Filterwechsel bei den HEPA-Filtergeräten innerhalb von 4-8 Jahren auf die Kosten der Investition.

Aus den genannten Gründen kommen für Klassenräume und sonstige Aufenthaltsräume überwiegend nur UV-C-Geräte für die Raumlufthygiene in Frage. Sonderräume, wie Toiletten, Laborräume oder Umkleiden sind derzeit noch nicht ausreichend untersucht. Insbesondere durch Geruchspartikel können hier Abbauprodukte entstehen, die sehr störend sind. Aus diesem Grund können hier u.U. auch HEPA-Luftfilter empfohlen werden. Bei nachgewiesener Eignung versprechen in Zukunft ggf. auch photokatalytische Geräte Abhilfe.

Ebenso wenig wurden bisher die Strömungsverhältnisse und die Luftumsetzung vor allem in Toiletten und Umkleiden untersucht, die von der besonderen räumlichen Struktur beeinflusst sind. Hierfür wird gerade eine Untersuchung an der TH Rosenheim angedacht.

## 4 Raumsituation

### 4.1 Maße und Fenster

Die Klassenräume können in Gruppen gleicher Größe und Ausprägung zusammengefasst werden. Im Untergeschoss befinden sich 3 Klassenräume gleicher Größe sowie ein Aufenthaltsraum und ein Speiseraum.

Im Obergeschoss befinden sich jeweils drei bzw. zwei gleichartige Klassenräume und das Lehrerzimmer.

Raumgruppe	Anz.	Pers/ Raum	Länge m	Breite m	Höhe m	Fläche m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>
UG 02-04	3	20	7,80	9,00	3,00	70,20	210,60
EG 02-04	3	25	8,00	9,00	3,80	72,00	273,60
EG 07-08	2	25	7,20	9,00	3,80	64,80	246,24
Speiseraum	1	35	9,60	7,20	3,00	69,12	207,36
Lehrerzimmer	1	8	6,20	3,60	2,80	22,32	62,50

Tabelle 1: Raumgruppentabelle mit Bemaßung

Die Fenstersituation ist in den Raumgruppen ebenfalls gleich, so dass für die Gruppen eine einheitliche Berechnung des Luftstroms möglich ist.

Stoßlüften (Fenster einer Raumseite öffnen) ist grundsätzlich in allen Räumen möglich. Für jeden Raum wurde die durch Stoßlüftung berechnete minimal zugeführte Frischluftmenge berechnet und der für die jeweilige Personenanzahl notwendigen Frischluftmenge gegenüber gestellt. Die Differenz ergibt das notwendige Umwälzungsvolumen je Stunde für Standgeräte der Raumlufthygiene. Dies ist die Grund-

lage für alle folgenden Berechnungen zur Geräteauslegung und wird in den folgenden Volumenstrom-Diagrammen dargestellt.

In den Räumen EG 02 bis 04 befinden sich gegenüber der Fensterfront unter der Decke Kippfenster, die elektrisch geöffnet werden können. In den Räumen EG 07-08 liegen die ganz offenen Fenster gegenüber. Im Speiseraum liegen die Fenster ebenfalls gegenüber, so dass in all diesen Räumen durch Querlüften bei gleichzeitiger Öffnung eine intensive Luftströmung mit höheren Frischluftvolumen ermöglicht wird. Dies wurde bei der Geräteplanung durch den Faktor 0,6 bei der Berechnung der Differenzmenge gegenüber der Stoßlüftung berücksichtigt.

Eine Übersicht über die Fenstersituation gibt die folgende Tabelle. Die Fenster gehen als Grundannahme für die Frischluftzufuhr in die Kapazitätsberechnung der Empfehlung ein.

Raumgruppe	Höhe cm	Breite cm	Öffnung Anz.	Öffnung Modus	Höhe cm	Breite cm	Anz.	Öffnung Modus	Höhe cm	Breite cm	Öffnung Anz.	Öffnung Modus
UG 02-04	188	76	3	vollständig	50	140	3	gekippt				
EG 02-04	160	70	3	vollständig	160	50	3	gekippt	40	200	2	gekippt
EG 07-08	100	120	5	vollständig	100	120		gekippt	100	60	6	gekippt
Speiseraum	120	100	5	vollständig	110	100	5	vollständig				
Lehrerzimmer	100	120	3	vollständig	120	40	3	gekippt	50	40	2	gekippt
Betreuung	120	100	5	vollständig	110	100		vollständig				

Tabelle 2: Fenstersituation nach Raumgruppen

## 4.2 Volumenstromberechnung je Raumgruppe nach Monaten

### 4.2.1 Raumgruppe UG 02-04

#### ERGEBNIS FÜR UG 02-04 (SCHULKLASSENRAUM)

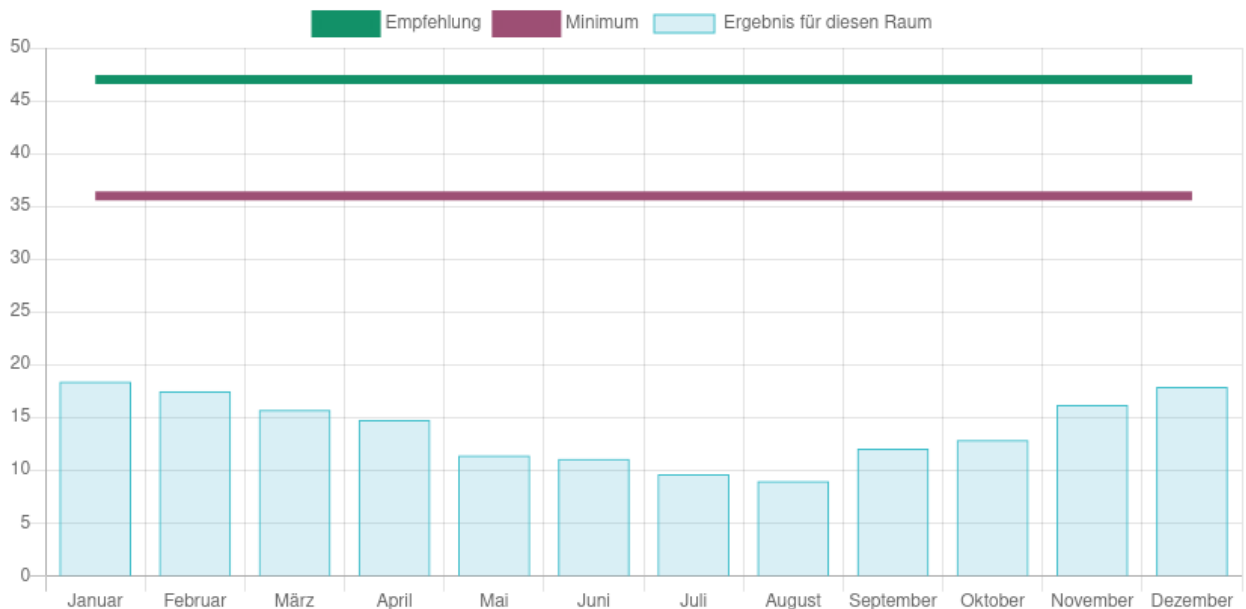
Raum: 70 m<sup>2</sup>, 25 Personen

Durch Raumnutzung (Schulclassenraum) hinterlegte Schwellwerte **UNTER MINDESTANFORDERUNG**

MINIMALER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT      EMPFOHLENER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT

36

47



Der notwendige Frischluftstrom beträgt für 25 Personen mindestens 900m<sup>3</sup>/h, der für 25 Personen theoretisch berechnete Luftstrom durch Fensterlüftung beträgt 241,4 m<sup>3</sup>/h. Das Volumenstromdiagramm zeigt eine ganzjährige Unterdeckung des notwendigen Frischluftstroms pro Person.

## 4.2.2 Raumgruppe EG 02-04

## ERGEBNIS FÜR EG 02-04 (SCHULKLASSENRAUM)

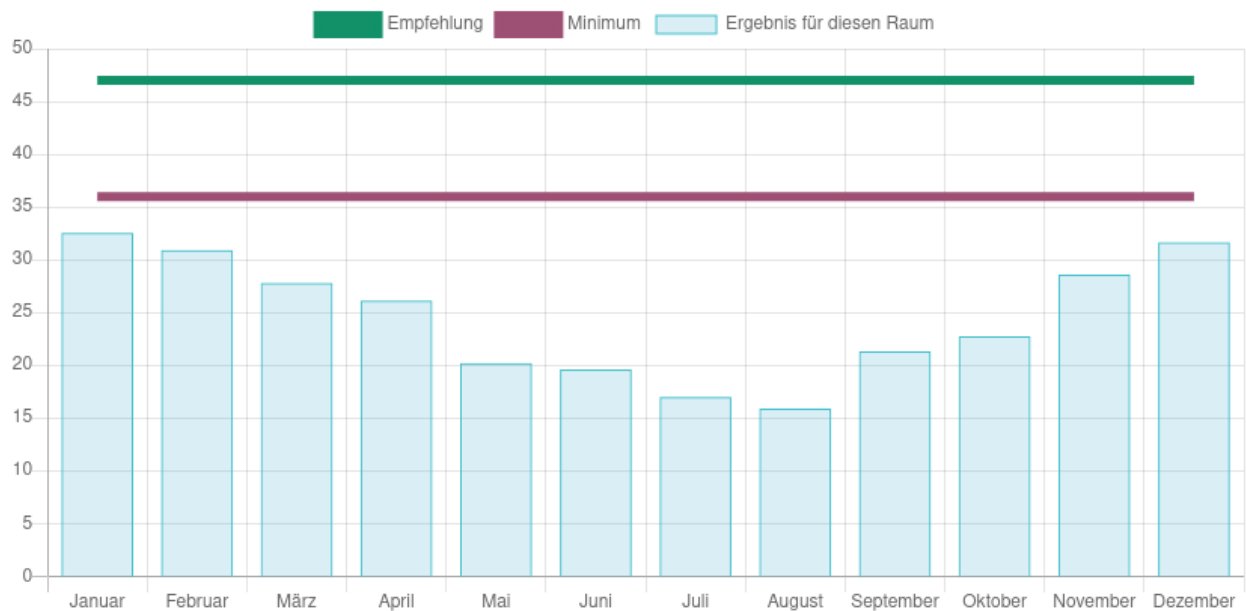
Raum: 72 m<sup>2</sup>, 20 PersonenDurch Raumnutzung (Schulclassenraum) hinterlegte Schwellwerte **UNTER MINDESTANFORDERUNG**

MINIMALER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT

EMPFOHLENER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT

36

47



Der notwendige Frischluftstrom beträgt für 25 Personen mindestens 720m<sup>3</sup>/h, der für 20 Personen theoretisch berechnete Luftstrom durch Fensterlüftung beträgt 341,2 m<sup>3</sup>/h. Das Volumenstromdiagramm zeigt eine mäßige Versorgung mit Frischluft pro Person in Bezug auf die Belüftungsmöglichkeiten während der Wintermonate und eine deutliche Unterversorgung von über 50% während der Sommermonate.

4.2.3 Raumgruppe EG 07-08 EG

ERGEBNIS FÜR EG 07-08 (SCHULKLASSENRAUM)

Raum: 65 m<sup>2</sup>, 25 Personen

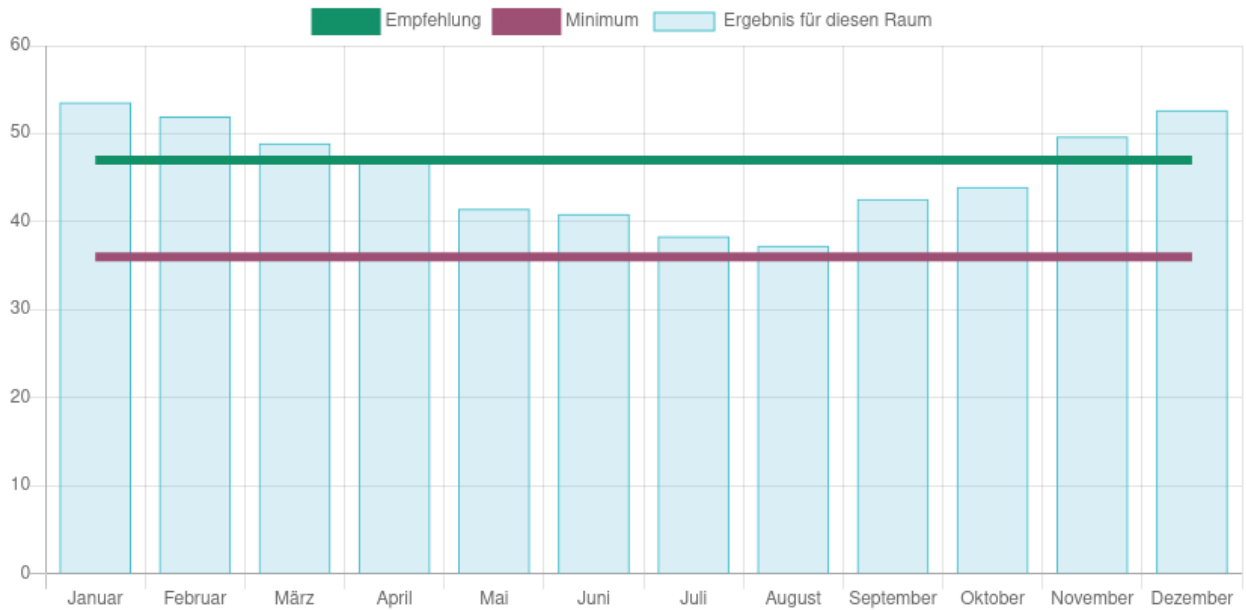
Durch Raumnutzung (Schulclassenraum) hinterlegte Schwellwerte **AUSREICHEND**

MINIMALER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT

EMPFOHLENER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT

36

47



Der notwendige Frischluftstrom beträgt für 25 Personen mindestens 900m<sup>3</sup>/h, der für 25 Personen theoretisch berechnete Luftstrom durch Fensterlüftung beträgt 959,2 m<sup>3</sup>/h. Das Volumenstromdiagramm zeigt eine ganzjährig ausreichende Versorgung pro Person mit Frischluft, das Optimum wird aber in den Sommermonaten nicht erreicht.

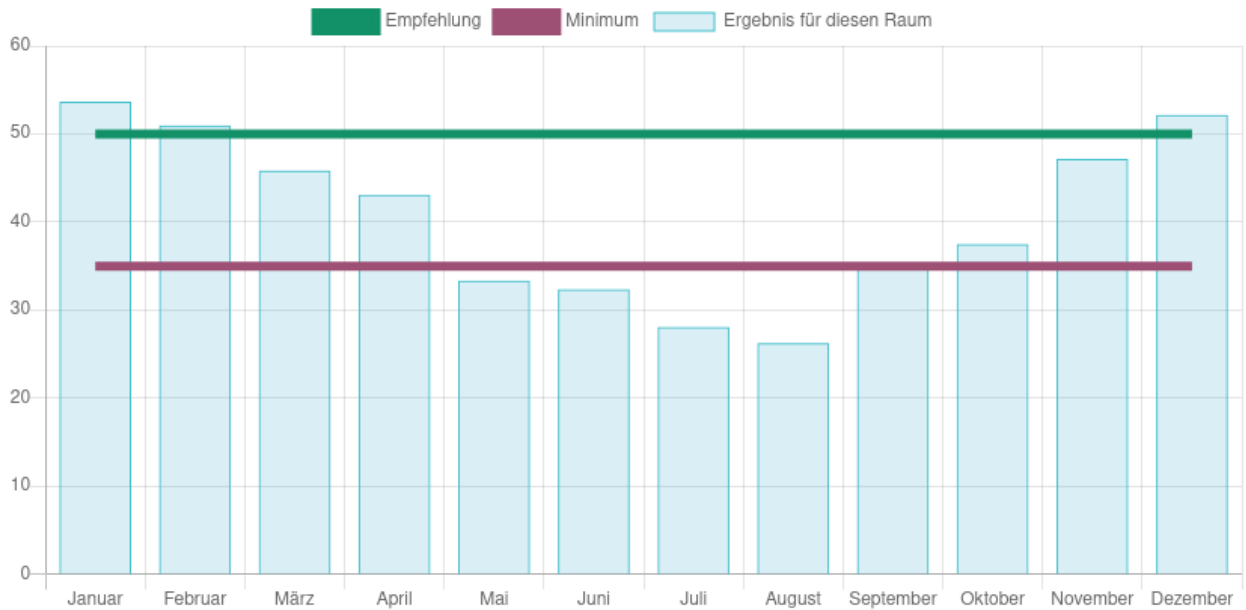
4.2.4 Speiseraum UG 70m<sup>2</sup>/200m<sup>3</sup>, Kippfenster 15m<sup>2</sup>, Personen 35

ERGEBNIS FÜR SPEISERAUM UG (BESPRECHUNGSRAUM)

Raum: 70 m<sup>2</sup>, 30 Personen

Durch Raumnutzung (Besprechungsraum) hinterlegte Schwellwerte **AUSREICHEND**

MINIMALER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT	EMPFOHLENER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT
35	50



Der notwendige Frischluftstrom beträgt für 30 Personen mindestens 1.080m<sup>3</sup>/h, der für 30 Personen theoretisch berechnete Luftstrom durch Fensterlüftung beträgt 843,0 m<sup>3</sup>/h. Das Volumenstromdiagramm zeigt eine ausreichende Versorgung mit Frischluft pro Person in Bezug auf die Belüftungsmöglichkeiten während der Wintermonate und eine mäßige Unterversorgung während der Sommermonate.

4.2.5 Betreuungsraum

Die für den Betreuungsraum verfügbaren Daten waren nicht für eine Berechnung geeignet.

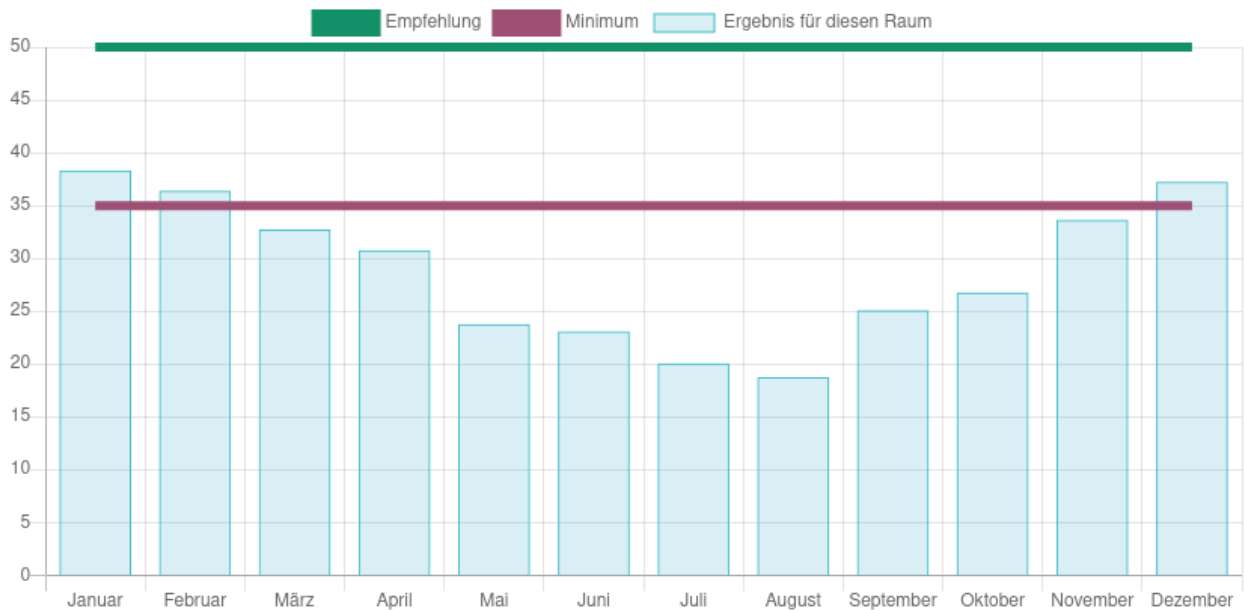
## 4.2.6 Lehrerzimmer

### ERGEBNIS FÜR LEHRERZIMMER (BESPRECHUNGSRAUM)

Raum: 22 m<sup>2</sup>, 8 Personen

Durch Raumnutzung (Besprechungsraum) hinterlegte Schwellwerte **UNTER MINDESTANFORDERUNG**

MINIMALER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT	EMPFOHLENER VOLUMENSTROM UNBELASTETER LUFT
35	50



Der notwendige Frischluftstrom beträgt für 8 Personen mindestens 288m<sup>3</sup>/h, der für 8 Personen theoretisch berechnete Luftstrom durch Fensterlüftung beträgt 161,0 m<sup>3</sup>/h. Das Volumenstromdiagramm zeigt eine ausreichende Versorgung mit Frischluft pro Person in Bezug auf die Belüftungsmöglichkeiten während der Wintermonate und eine deutliche Unterversorgung von knapp 50% während der Sommermonate.

## 4.3 Toiletten

### 4.3.1 2 x Raum 32m<sup>3</sup>, Kippfenster 2,5m<sup>2</sup>

Derzeit keine Empfehlung, da noch Klärungsbedarf

## 5 Lufthygienekonzept

Das Lufthygienekonzept setzt auf zwei wesentliche Faktoren: das Lüften über Fenster und technische Luftreinigung. Zusätzlich ist immer auf die übrigen Hygieneregeln der Landes- bzw. Bundesverordnungen zur Seuchenbekämpfung zu achten. Ein wesentlicher Faktor für die Ansteckung über Aerosole ist die Konzentration in Innenräumen, weshalb unabhängig vom unten dargestellten Konzept immer auf Abstand zwischen den Personen und ggf. Mundschutz zu achten ist.



## 5.1 Lüftung über Fenster

Fast alle Räume haben zu geringen Luftaustausch gemessen an der Empfehlung nach DIN EN 15251 Stufe IDA<sub>1</sub>. Die konkrete Empfehlung für den Luftaustausch basiert auf dem Unterrichtsrythmus, der in den Pausen ein Öffnen der Fenster zulässt, wobei der Austausch im Sommer aufgrund der geringeren Temperaturgegensätze bei keinem bis geringem Wind signifikant geringer ist als im Winter. Grundsätzlich ist im Minimum ein Öffnen der Fenster von durchschnittlich 10 Minuten je Stunde zugrunde gelegt, was nach spätestens 45 Minuten Unterrichtszeit 5 Minuten Lüften erfordert und in den Pausenzeiten die jeweils 10 Minuten. Optimal wäre jedoch ein Lüften alle 30 Minuten. Dies beseitigt nicht nur die mögliche Virenlast besser, sondern fördert auch die Abfuhr von CO<sub>2</sub>, das zur Ermüdung führt.

Bei Räumen, deren Fenster Querlüften zulassen, ist eine halb so lange Öffnungszeit möglich, sobald leichter Wind herrscht. Insgesamt kann im Winter etwas kürzer gelüftet werden als im Sommer, da im Winter die Temperaturgegensätze zwischen innen und außen größer sind und so zu einem stärkeren Luftumsatz beitragen.

## 5.2 Technische Ergänzung

Aufgrund des berechneten Luftaustauschs ist für alle Räume zusätzliche Lüfthygienetechnik erforderlich und empfehlenswert. Auch in Räumen, die die geordneten Werte erreichen bzw. knapp übertreffen, sind technischen Anlagen sinnvoll, da sich während der Perioden zwischen den Lüftungszeiten ohne Luftbewegung lokale Aerosolkonzentrationen bilden können, die dann Ansteckungen verursachen. Bereits eine leichte Luftströmung im Raum verhindert dies.

Toiletten und Umkleiden sind derzeit noch als Sonderfall zu sehen und wurden nicht einbezogen, da hier noch Praxistests in Bezug auf Geruchsveränderung und Strömungsverhalten ausstehen.

Folgende maximale Unterdeckung beim Luftstrom in m<sup>3</sup>/h wurde festgestellt:

Raumgruppe	Person /Raum	Differenz m <sup>3</sup> /h/Person		Lüftung m <sup>3</sup> /h	Σ Opt m <sup>3</sup> /h	Σ Min m <sup>3</sup> /h	Bedarfsop-timum m <sup>3</sup> /h	Bedarfsmini-mum m <sup>3</sup> /h
		Max	Min					
UG 02-04	25	-25	-3	241,4	1175	875	<b>933,6</b>	<b>633,6</b>
EG 02-04	20	-28	-19	341,2	940	700	<b>598,8</b>	<b>358,8</b>
EG 07-08	25	15	0	959,2	1175	875	<b>215,8</b>	<b>-84,2</b>
Speiseraum	30	-11	15	843,0	1500	1050	<b>657</b>	<b>207</b>
Lehrerzimmer	8	-28	1	161,0	376	280	<b>215</b>	<b>119</b>

Tabelle 3: Lüftungsbedarf nach Raumgruppen mit Leistungsbedarf zur Unterstützung

Aus dem Lüftungsbedarf ergibt sich der Gerätebedarf. Hierfür wurden folgende Geräte berücksichtigt:

Airbuster 200D mit 200m<sup>3</sup>/h, 37 dB(A), UV-C mit Grobfilter

Airbuster 300D mit 300m<sup>3</sup>/h, 37 dB(A), UV-C mit Grobfilter

LiEx MiKi mit 70 m<sup>3</sup>/h, 37 dB(A), UV-C

Alle anderen derzeit angebotenen Geräte mit UV-C-Technik erreichen nicht die für den Luftaustausch notwendigen Umwälzvolumina oder sind mit zu geringer UV-Leistung ausgestattet, um eine ausreichende Virenreduktion zu garantieren bzw. arbeiten mit möglicherweise gesundheitsgefährdenden Zusatztechniken.

Es wird empfohlen, die Geräte entweder **an der Decke oder unter der Decke an der Wand** zu befestigen, da dann gewährleistet ist, dass weniger Schmutz angesaugt wird und vor allem verbrauchte (erwärmte) Luft angesaugt wird. Außerdem beugt dies in den Schulräumen absichtlicher oder fahrlässiger Beschädigung und in diesem Kontext ggf. gesundheitlichen Schäden bei Öffnung der Geräte vor.

Es ist teilweise möglich, anstelle eines Gerätes mehrere Geräte anderer Leistung einzusetzen, sofern der Geräuschpegel eingehalten wird. Auch zwischen minimal erforderlicher Leistung und optimaler Leistung bestehen nochmals Unterschiede. Daraus ergeben sich zwei Alternativen, die in folgenden Übersichten zusammengefasst sind:

### 5.2.1 Optimalleistung

Raumgruppe	Optimalbedarf m <sup>3</sup> /h	Geräteleistung m <sup>3</sup> /h	AirBus-ter 300	MiKi	Σ Kosten je Raumtyp	Typen/Gruppe	Σ Kosten je Raumgruppen
UG 02-04	560,16	600	2	0	6.000,00 €	3	18.000,00 €
EG 02-04	359,28	370	1	1	3.600,00 €	3	10.800,00 €
EG 07-08	129,48	140	0	2	1.200,00 €	2	2.400,00 €
Speiseraum	394,2	370	1	1	3.600,00 €	1	3.600,00 €
Lehrerzimmer	129	140	0	2	1.200,00 €	1	1.200,00 €
Σ Investition							36.000,00 €

Tabelle 4: Investitionskalkulation für die optimal erforderliche Geräteleistung

Der Optimalbedarf stellt die unter allen erwartbaren Gegebenheiten erforderliche Konfiguration dar, die auch bei mehr Personen im Raum noch einen Puffer bietet.

Für die Folgekosten wurden je Jahr 1 Grobfilter beim Airbuster und ein Röhrensatz in fünf Jahren angesetzt.

Für den Airbuster 300 betragen diese Kosten 390,-€ in 5 Jahren und für den MiKi 15,-€, somit für alle Geräte der Optimalvariante 4.260,-€ in fünf Jahren.

## 5.2.2 Minimalleistung

Raumgruppe	Minimalbe- darf m <sup>3</sup> /h	Geräteleis- tung m <sup>3</sup> /h	AirBus- ter 200	MiKi	Σ Kosten je Raumtyp	Typen/ Gruppe	Σ Kosten je Raumgruppe
UG 02-04	253,44	270	1	1	2.600,00 €	3	7.800,00 €
EG 02-04	143,52	140	0	2	1.200,00 €	3	3.600,00 €
EG 07-08	-50,52	70	0	1	600,00 €	2	1.200,00 €
Speiseraum	82,8	140	0	2	1.200,00 €	1	1.200,00 €
Lehrerzimmer	71,4	70	0	1	600,00 €	1	600,00 €
Σ Investition							14.400,00 €

Tabelle 5: Investitionskalkulation für die minimal erforderliche Geräteleistung

Die Minimalleistung ist die Leistung, die mindestens erbracht werden muss, um einen ausreichenden Luftstrom unter den angenommenen Bedingungen aufrecht zu erhalten, damit ausreichend Viren deaktiviert werden.

Für die Folgekosten wurden je Jahr 1 Grobfilter beim Airbuster und bei beiden Geräten je ein Röhrensatz in fünf Jahren angesetzt.

Für den Airbuster 200 betragen diese Kosten 350,-€ in 5 Jahren und für den MiKi 15,-€, somit für alle Geräte der Minimalvariante 7050,-€ in fünf Jahren.

## 5.2.3 Alternative Betrachtung HEPA-Filtergeräte

Diese Betrachtung stellt ausdrücklich keine Empfehlung dar, sondern dient dem wirtschaftlichen Vergleich. Lufthygienetechnisch sind die vorgestellten Geräte geeignet, Viren in vergleichbarer Zeit wie UV-C-Luftreiniger der Luft zu entziehen und teilweise werden diese auch inaktiviert, da zusätzlich die Filter mit UV-C-Licht desinfiziert werden.

Allerdings bestehen außer den wirtschaftlichen auch weitere wichtige fachliche Bedenken gegen den Einsatz der HEPA-Filtergeräte:

1. Die Aufstellung am Boden, die häufig zu starker Grobverschmutzung im Betrieb führen kann und damit die Leistung senkt.
2. Durch diese Aufstellungsart ist auch die freie Zugänglichkeit im Schulbetrieb immer ein Risiko, da fahrlässige oder mutwillige Beschädigungen sehr leicht möglich sind.
3. Die Lärmentwicklung, die bei allen bekannten Geräten im Lastbetrieb über 40 dB(A) liegt, schränkt die Konzentrationsfähigkeit im Unterricht erheblich ein.

Die übrigen Bedenken wurden bereits ausführlich in Kapitel 2.1 dargelegt.

Zwei Geräte aus der mittleren und hohen Leistungskategorie wurden betrachtet, da die anderen Geräte entweder den notwendigen Volumenstrom nicht erreichen oder preislich den betrachteten entsprechen:

Mann+Hummel OurAir SQ 2500, HEPA 14, max 2.500m<sup>3</sup>/h, optional mit UV-C, 150kg, max. 460W, empfohlenen 1.250m<sup>3</sup>/h => 44dBA in 1m,

Mann+Hummel OurAir TK 850, HEPA 14, max. 950m<sup>3</sup>/h, 40 dB(A) in 1 m, 60kg, max. 220W, empfohlenen 400m<sup>3</sup>/h => 40dBA in 1m,

Mann+Hummel OurAir TK 500, HEPA 14, max. 500m<sup>3</sup>/h, 60kg, max. 85W, empfohlenen 370m<sup>3</sup>/h => 48 dB(A) in 1m

Das Gerät OurAir 500 ist demnach auf Grund seiner hohen Geräuschemission im Normalbetrieb nicht für Schulräume geeignet und wurde deshalb in der Konfiguration nicht berücksichtigt

Die Investitionskosten liegen auf Grund der höheren Gerätekosten bei der Minimalvariante deutlich über den UVC-Filtergeräten, die Folgekosten liegen ebenfalls deutlich höher.

Raumgruppe	Minimal- bedarf m <sup>3</sup> /h	Geräteleis- tung m <sup>3</sup> /h	OurAir SQ2500	OurAir TK850	Σ Kosten je Raumtyp	Typen/ Gruppe	Σ Kosten je Raumgruppe
UG 02-04	633,6	1.250	1	0	<b>3.850,00 €</b>	<b>3</b>	<b>11.550,00 €</b>
EG 02-04	358,8	400	0	1	<b>2.485,00 €</b>	<b>3</b>	<b>7.455,00 €</b>
EG 07-08	-84,2	400	0	1	<b>2.485,00 €</b>	<b>2</b>	<b>4.970,00 €</b>
Speiseraum	207	400	0	1	<b>2.485,00 €</b>	<b>1</b>	<b>2.485,00 €</b>
Lehrerzimmer	119	400	0	1	<b>2.485,00 €</b>	<b>1</b>	<b>2.485,00 €</b>
Σ Investition							<b>28.945,00 €</b>

Für die Folgekosten wurden je Jahr 1Grobfilter und 2 HEPA14-Filter bei beiden Geräten angesetzt.

Für den OurAir 2500 betragen diese Kosten 1.005,- je Jahr und für den 850 1.125,-€, somit für alle Geräte der Minimalvariante 27.565,-€ in fünf Jahren.

#### 5.2.4 Abschließende Technikempfehlung

Für die Reduktion von aerosolgebundenen oder sonst schwebenden Krankheitserregern in der Luft der Schulräume empfehlen wir eine Minimalausstattung mit UV-C-Luftreinigern eines Luftvolumens, das dem der angeführten Beispielgeräte entspricht. Die Geräte müssen eine ausreichende Energiemenge an UV-C-Licht (optimal der Wellenlänge 254nm) innerhalb eines nach außen lichtdicht geschlossenen Gehäuses bereitstellen, um genügend Keime in der durchströmenden Luft abzutöten. Dies sollte anhand entsprechender Tests nachgewiesen sein.

Für Toiletten und Umkleiden können wir derzeit keine Empfehlung abgeben, da sowohl die Luftströmungsverhältnisse als vor allem die Auswirkung vermehrter Körpergeruchspartikel auf die Veränderungen der organischen Substanzen noch nicht abschließend untersucht wurden.

## 6 Anhang

### 6.1 Quellennachweise

Umweltbundesamt UBA:

[Lüftung, Lüftungsanlagen und mobile Luftreiniger an Schulen | Umweltbundesamt](#)

Fraunhofer-Gesellschaft IBP:

IBP-Bericht Nr. UHS-052/2020 v. 18.11.2020, Wirkungsnachweis OxyTec,

<https://www.initiative-gesunde-raumluft.de/>,

[https://www.ibp.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/pi\\_2021-02\\_healthy-air-initiative.html](https://www.ibp.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/pi_2021-02_healthy-air-initiative.html),

GMP Concept Heidelberg: <https://www.gmp-navigator.com/gmp-news/wie-haeufig-muessen-hepa-filter-gewechselt-werden>

Bundesamt für Strahlenschutz BfS:

<https://www.bfs.de/DE/themen/opt/anwendung-alltag-technik/uv/uv-c-strahlung/uv-c-desinfektion.html>

VDE: Test-Report Nr. 281028-TL4-1 v. 3.3.2021 Funktionsnachweis LiEx MiKi

Hochschule für angewandte Wissenschaften München: Gutachten Airbuster 300D vom 09.04.2021

Allgemeine Lärmtabelle: <http://www.code-knacker.de/dba.htm>