

# Dezentrale Luftfilteranlagen – zu laut für den Unterricht

Carsten Ruhe

Lange Zeit war kein Präsenzunterricht möglich, im Sommer 2021 begann er – mit den entsprechenden Schutzmaßnahmen – wieder. Seitdem werden bundesweit Lüfter mit Virenfilter und/oder mit UV-Behandlung gekauft und in Klassenräumen aufgestellt. Die Anschaffung der Anlagen wird vielerorts gefördert. In den Beschaffungsrichtlinien sind die Angaben über die einzuhaltenden Schallpegel kaum spezifiziert. Man findet aber zahlreiche Zeitungsartikel mit Klagen über den Lärm. Nur wenige Hersteller haben bisher Schallmessungen im Prüfstand ausführen lassen, viele andere Messungen erfolgten nicht sachgerecht. Ein Hersteller weigerte sich auf Anfrage, den Messbericht zur Verfügung zu stellen. Auch über Messungen vor Ort gibt es nur wenige Berichte. Selbst die Deutsche Gesetzliche Unfall-Versicherung (DGUV) und die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA) können bisher kaum Hilfestellung geben.

Veranlasst durch Anfragen von verschiedenen Seiten wurde – basierend auf den wenigen erhältlichen Prüfstandsmesswerten – zunächst eine rechnerische Prognose erstellt, welche bereits eine deutliche Auswirkung dieser Geräusche auf die Verständlichkeit von Sprache im Unterricht und damit auf den Lernerfolg erwarten lässt (Ruhe 2021). Deshalb fanden in verschiedenen Schulen an unterschiedlichen Anlagen ausführliche Schallmessungen statt, um die tatsächlichen Beeinträchtigungen zu erfassen. Über diese Messungen und ihre Ergebnisse wird hier berichtet.

## Geschichtlicher Ablauf

Im Frühjahr 2020 griff die Coronapandemie auch auf Deutschland über. In der Folge wurde beim harten Lockdown der Präsenzunterricht an den Schulen eingestellt. Über-

legungen, wie man diesen wieder möglich machen kann, führten unter anderem dazu, dass ein Hersteller von Lüftungsgeräten an der Universität der Bundeswehr in München-Neubiberg eine Untersuchung über die Filterleistung von Umluftfilteranlagen beauftragte. Der Bericht wurde im August 2020 veröffentlicht (Kähler et al. 2020). Demnach sollen solche Anlagen geeignet sein, die Virenbelastung der Innenraumluft erheblich zu reduzieren. In der Folge wurden Forderungen erhoben, die Schulen mit solchen Umluftfilteranlagen auszustatten. Vorreiter soll – für den Schutz der Pädagog\*innen – aussagegemäß die GEW gewesen sein. Das veranlasste wiederum zahlreiche Firmen ohne lange vorangehende Entwicklungen und sorgfältige Untersuchungen solche Geräte zu produzieren und anzubieten. Wenn diese Geräte in den Klassenräumen im Soll-Betriebszustand laufen, beklagen sich Lehrer\*innen und Schüler\*innen über die zu lauten Geräusche mit der Folge, dass die geförderte Luftmenge reduziert wird. Vermittelt durch das Referat „Lärm“ bei der DGUV erhielt der Verfasser die Anfrage aus einer süddeutschen Kreisstadt, welche sich schon vor der Bestellung der Geräte mit dem Geräuschproblem befasste. Zum damaligen Zeitpunkt lagen nur Ergebnisse von In-situ-Kurzmessungen mit geringer Aussagekraft vor. Deshalb basierte die erste Stellungnahme ausschließlich auf (wenigen) Schallmessungen im Prüfstand (Ruhe 2021). Dieser Bericht führte zu Anfragen direkt von einigen Schulen (nicht den Schulträgern) und daraus ergaben sich dann, verstreut über das Bundesgebiet, etliche Schallmessungen, über die hier anhand einzelner Beispiele berichtet wird.

In zwei Fällen wurde von den städtischen Verwaltungen berichtet, man habe vorab umfangreiche Untersuchungen vorgenommen, weil man von der Geräuschproblematik wusste. Dennoch sei – gegen deren Rat

– von den Politiker\*innen entschieden worden, die Geräte anzuschaffen, um Lehrer\*innen und Eltern zu beruhigen. Dabei wurde nicht nur unsachlich argumentiert, sondern zum Teil auch polemisiert: *Weile statt Eile bzw. das große Nichts für unsere Schulkinder!*

Die Messergebnisse aus den verschiedenen Schulen sind zwar relativ ähnlich, aber doch immer wieder unterschiedlich. Das ist durch folgende Umstände begründet:

- Die Besetzungsdichte mit Tischen und Stühlen reicht von sieben bis zu 28 Plätzen.
- Dadurch sind nicht überall freie Messpfade vorhanden.
- Die Möblierung variiert von „Halbkreis“ über „in-Reih-und-Glied“ bis zur „freien Aufstellung“.
- Dadurch gab es nur in wenigen Fällen geordnete Messpunkte.
- Die Aufstellung der Raumluftfilteranlagen in den Klassenräumen ist sehr unterschiedlich nach dem Motto „Wo ist denn noch Platz?“.
- Sie stehen deshalb in Raumecken, mittig vor der Rückwand oder der Flurwand, in einem Fall sogar am Fenster.
- Auch die Aufstellung zwischen Schränken und Regalen ist nicht selten (mit entsprechender Beeinträchtigung der Luftströmung auf der Ansaugseite).
- Die Auswahl der hier vorgestellten Beispiele erfolgte im Hinblick auf eine gute Nachvollziehbarkeit für die Leserschaft.

## Untersuchungen an der Universität der Bundeswehr München (UniBw M)

Die von einem Gerätehersteller am Institut für Strömungsmechanik und Aerodynamik der Universität der Bundeswehr in München-Neubiberg beauftragten Unter-

suchungen zur Wirksamkeit der Umluft-Filterung erfolgten an einer Raumluftfilteranlage TROTEC TAC V+, der die folgenden Merkmale aufweist (Trotec o. J.)

- maximaler Volumenstrom etwa 1500 m<sup>3</sup>/h
- Filter der Klasse F7 und H14
- Reinigung der Filter durch Erhitzung auf über 100 °C
- trotz des Gewichts von 89 kg auf Rollen leicht verfahrbar
- Grundfläche etwa 0,5 m x 0,5 m bei einer Höhe von 1,3 m
- Die Luft wird von unten angesaugt und nach oben ausgeblasen.
- Die Angaben zur Geräuscherzeugung des Geräts auf der Internetseite des Herstellers sind ohne jede Aussagekraft.

Die Untersuchungen erfolgten in einem quadratischen Raum, der bei 9 m Kantenlänge mit 81 m<sup>2</sup> eine etwas größere Grundfläche als ein üblicher Klassenraum hat (65 bis 70 m<sup>2</sup>). Bei nur 2,5 m Höhe (üblich für Klassenräume ca. 3 m) liegt aber etwa das entsprechende Volumen von 200 m<sup>3</sup> vor. In dem Bericht wird ausgesagt, dass für eine sachgerechte Virenreduktion eine sechsfache Luftumwälzung je Stunde, also ein Luftvolumenstrom von 1200 m<sup>3</sup>/h, notwendig sei. Das ist die dreifache Menge dessen, was man bei konventionellen zentralen Lüftungsanlagen mit Frischluft-Fortluft-Betrieb für die Kohlendioxid(CO<sub>2</sub>)-Abfuhr benötigt. Die Raumluftfilteranlagen beseitigen aber kein CO<sub>2</sub>, lüften muss man also zusätzlich.

## Empfehlungen von UBA und VDI

Das Umweltbundesamt (UBA) hat im Juli 2021 eine Empfehlung veröffentlicht (Umweltbundesamt 2021), die auf einer Zusammenarbeit mit der VDI-KRdL basiert. Von dieser wurde die Empfehlung VDI-EE 4300-14 herausgegeben (VDI 2021a, VDI 2022). Darin heißt es u. a.: „Neben dem Lüften über Fenster kann zusätzlich eine Unterstützung der Virenreduktion über die Installation einfacher Zu-/Abluftanlagen oder den Einsatz mobiler Luftreiniger erfolgen. Mobile Luftreiniger stellen dabei keinen Ersatz des Lüftens über Fenster, sondern gegebenenfalls eine sinnvolle Ergänzung dar. Die VDI-Expertenempfehlung legt

Prüfbedingungen für mobile Luftreiniger in Bezug auf ihre Wirksamkeit zur Reduktion der Virenbelastung in einem realen Raum fest.“ (VDI 2021b)

In der VDI-EE 4300-14 sind u. a. folgende Vorgaben aufgeführt:

- Aufstellpositionen im Raum entsprechend der Anweisungen der Hersteller
- Filterklassen wie HEPA H13
- Sicherheit und Schutz vor Vandalismus
- Luftvolumenstrom für mobile Luftreinigungsgeräte, der mindestens dem vierfachen Luftwechsel pro Stunde entspricht
- Geräuscherzeugung bei dem geforderten Luftvolumenstrom nach ASR A3.7 (z. B. für Schulen Schalldruckpegel kleiner/gleich 35 dB(A))
- Behaglichkeitsaspekte (Vermeiden von Zugluft)
- Reinigungsleistung bei Filtergeräten (Effizienz der Filterung > 90 %, Prüfung im Labor unter realraumähnlichen Bedingungen).

Die leichte Verfahrbarkeit der Geräte, wie sie bei dem von der UniBw M getesteten vorliegt, führt dazu, dass die Geräte sich nicht (mehr) am optimalen Standort befinden, sondern nach einiger Zeit offenbar nach Platz-Bedarf umgestellt werden.

## Geräuscherzeugung

Kenngröße für die Geräuscherzeugung von Lüftungsgeräten ist der sogenannte Schallleistungspegel L<sub>w</sub> (Emission). Er ist nur vom Betriebszustand, insbesondere vom Volumenstrom und der Pressung, abhängig und wird aus Messwerten im reflexionsfreien Schallmessraum errechnet. Typischerweise werden die Schallleistungspegel in Prüfberichten für verschiedene Leistungsstufen getrennt aufgeführt. Nur dadurch kann man die Gerätedaten auch leistungsbezogen vergleichen.

In den untersuchten Geräten einiger Hersteller sind zusätzlich auch Grob- und Feinstaub- sowie Aktivkohlefilter eingebaut. Die Überwindung jeder Filterstufe benötigt zusätzlichen Luftdruck, erhöht also bei gleichem Volumenstrom die Pressung. Bezogen auf eine bestimmte Filter-

kombination ist die Angabe des Volumenstroms zum Schallleistungspegel ausreichend.

Direkt messbar ist mit einem Schallpegelmessgerät aber nicht der Schallleistungspegel, sondern nur der Schalldruckpegel L<sub>p</sub> an einem bestimmten Punkt im Raum (Immision). Dieser ist zusätzlich zum Volumenstrom auch abhängig vom Messraumvolumen, der Nachhallzeit und dem Abstand zwischen dem Lüftungsgerät und dem Schallpegelmessgerät. Fehlen eine oder mehrere der vier Angaben, so sind die Messergebnisse von Schalldruckpegeln wertlos. Deshalb sind viele Herstellerangaben fragwürdig. Bei bekanntem Schallleistungspegel kann man aber sehr gut für einen Raum mit bekanntem Volumen und bekannter Nachhallzeit den in einem bestimmten Abstand vom Gerät zu erwartenden Schalldruckpegel errechnen.

Beim Volumenstrom besteht ein linearer Zusammenhang zum Schallleistungspegel, bei der Verdopplung jedoch ein quadratischer: Jede Verdopplung des Volumenstroms erhöht also den Schallleistungspegel um 3 dB, jede Verdopplung der Pressung erhöht ihn aber um 6 dB. Weil die Pressung mit zunehmendem Volumenstrom auch größer wird, erhöht sich der Schallleistungspegel bei Volumenstromverdopplung also zwischen 6 und 10 dB, je nach Filtern. Deshalb werden bei einigen Herstellern augenscheinlich nur HEPA-Filter eingebaut, aber weder Staub- noch Aktivkohlefilter. Der Verzicht auf Staubfilter dürfte aber auf Dauer wegen der Luftansaugung direkt über dem Fußboden ungünstig sein, weil dadurch die HEPA-Filter verschmutzen und somit die erforderliche Pressung doch wieder ansteigt oder der Luftvolumenstrom abnimmt.

Klassenräume haben typischerweise ein Raumvolumen von ca. 200 m<sup>3</sup>. Bei einem sechsfachen Luftwechsel müssen also 1200 m<sup>3</sup>/h Luft bewegt werden. Demnach sind in jeder Sekunde 1200 m<sup>3</sup>/h / 3600 s/h = 1/3 m<sup>3</sup>/s zu bewegen. Die Anlagen müssen also in jeder Sekunde etwa den Luftinhalt von zwei Badewannen fördern. Dass so etwas bei begrenzter Gerätebaugröße nicht geräuschlos vonstattengehen kann, müsste jedem klar sein.

## Besonderheiten dezentraler Anlagen

Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, Frisch- und Fortluft müssen für hygienische Verhältnisse die Raumluft in jeder Stunde zweimal austauschen, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration ausreichend niedrig zu halten. Das sind bei den typischen Klassenraumgrößen etwa 400 m<sup>3</sup>/h. Für Raumluftfilteranlagen im Umluft-Betrieb wird nach den UNI-BW-Untersuchungen aber ein sechsfacher Luft-Umlauf gefordert, also 1200 m<sup>3</sup>/h (nach UBA/VDI nur mindestens vierfach). Die Luft muss zudem mit einem hohen Druck durch die sehr feinen HEPA-Filter gepresst werden. Beides führt gegenüber normalen Lüftungsanlagen zu einer deutlich erhöhten Schalleistung. Die Geräusche werden weiterhin nicht nur aus den Ansaug- und Ausblasöffnungen abgestrahlt, sondern zum Teil auch vom Gerätegehäuse. Normale Lüftungsanlagen stehen meist in einer Technikzentrale, also weit weg von den Klassenräumen, und in die Kanäle sind zusätzliche Schalldämpfer eingebaut. Alles das fehlt bei den dezentralen Raumluftfilteranlagen.

## Einzuhaltender Schallpegel

Im Juni 2021 veröffentlichte die DGUV eine sogenannte Gefährdungsbeurteilung für Luftfilteranlagen in öffentlichen Gebäuden. Enthalten ist auch ein Absatz zum Thema Lärmschutzanforderungen. „Bereits bei der Anschaffung von Geräten muss darauf geachtet werden, dass die angegebenen Schalleistungen auch bei der angestrebten Leistungsstufe eingehalten werden“, heißt es dort als Empfehlung. Und: „Viele Hersteller geben die Schalleistung nicht bei der maximalen Einstellung an“ (DGUV 2021). Diese Hinweise bieten den Nutzer\*innen/Käufer\*innen aber nur wenig Hilfestellung. Tatsächlich geben viele Hersteller nur Schalldruckpegel an, aber keine Schalleistungspegel. Eine Vorgabe über den einzuhaltenden Schalleistungspegel wird aber nicht benannt.

In der Richtlinie des BMWI werden allerlei Fördervoraussetzungen aufgeführt (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2020). Angaben zu den einzuhal-

tenden Schalleistungs- oder Schalldruckpegeln sind aber auch dort nicht zu finden.

Die Schalldruckpegel, welche in Klassenräumen während des Unterrichts auf die Schüler\*innen einwirken dürfen, sind in verschiedenen Regelwerken einheitlich aufgeführt. In der DIN 4190-1 (DIN e.V. 2018) und in der DIN 18041 (DIN e. V. 2016) sind die Anforderungen bezüglich maximal zulässiger Geräusche von gebäudetechnischen Anlagen in Unterrichtsräumen mit  $L_{AF,max,n} \leq 35$  dB(A) bzw.  $L_{NA,Bau} \leq 35$  dB(A) vorgegeben. Während nach DIN 4109 „etwa in Raummitte“ gemessen werden soll, ist in DIN 18041 ausdrücklich festgelegt, dass der Schalldruckpegel an dem der Schallquelle nächstbenachbarten Zuhörer\*innenplatz zu erfassen ist. VDI 2081 (VDI 2019) benennt diesen Schallpegel für die Lüftungsanlagengeräusche und in der ASR A3.7 (BMAS 2021) ist er als zulässiger Hintergrundschallpegel angegeben. Dieser Wert ist auch in der Expertenempfehlung VDI-EE 4300-14 aufgeführt.

Die Behörde für Schule und Berufsbildung der Freien und Hansestadt Hamburg (BSB) benennt als idealen Schallpegel einen Wert von 40 dB(A) und gibt als Toleranzgrenze sogar 45 dB(A) an. In der BSB-Handreichung heißt es beschwichtigend: „Die Geräte senden ein sonores Brummen/Rauschen zwischen 35 Dezibel und 45 Dezibel und sind wie Tischventilatoren mehrstufig oder stufenlos einstellbar“ (Behörde für Schule und Berufsbildung 2021).

Der Freistaat Bayern hat seine Förderrichtlinie novelliert. Waren dort zunächst ebenfalls bis zu 40 dB(A) zulässig, heißt es jetzt: „Der Schalldruckpegel muss im Normalbetrieb mit den Anforderungen an einen geordneten Unterrichts- und Kitabetrieb vereinbar sein. Die Geräte dürfen im Dauerbetrieb einen Schalldruckpegel möglichst von 35 dB(A), jedenfalls aber von 40 dB(A) nicht überschreiten“ (Bayerische Staatskanzlei 2021). In etlichen anderen Vorschriften ist der Grenzwert von 45 dB(A) aufgeführt. Das geschah offenbar vor dem Hintergrund, dass die meisten am Markt erhältlichen Geräte um etwa 10 dB lauter sind als die sachgerechten 35 dB(A).

Ein Hersteller schreibt auf seiner Website: „Der Geräuschpegel im Dauerbetrieb bei 1 150 m<sup>3</sup>/h Nennvolumenstrom liegt bei angenehmen 50 dB(A).“ (Hengst SE 2022) In der zugehörigen Betriebsanleitung sind dagegen – etwas ehrlicher – sogar 55 dB(A) aufgeführt. Zu demselben Gerät heißt es in einem Zeitungsbericht: „Schüler eines münsterischen Berufskollegs scherzten von ‚der Turbine‘, wenn die Filteranlage loslegte“ (Münstersche Zeitung 2021).

Weil die Schallpegelsollwerte bei sachgerechtem Luftvolumenstrom nicht einzuhalten sind, wird vielfach die Luftmenge so weit reduziert, dass die Lautstärke erträglich bleibt; dann fördern die Geräte aber zu wenig Luft, um die angestrebte Virenarmut sicherzustellen. Hier wiegen sich alle Nutzer\*innen in falscher Sicherheit. Die Geräte laufen völlig nutzlos, kosten aber Strom. Dazu schätzt die BSB in der Handreichung einen Jahresstromverbrauch von 2 860 MWh allein für Hamburg (Behörde für Schule und Berufsbildung 2021). Offenbleibt, ob sich dieser Wert auf den Vollast- oder sogar nur den empfohlenen Teillastbetrieb bezieht. Während die Anschaffung der Geräte vielerorts bezuschusst wird, müssen die Schulen sämtliche Betriebskosten (Strom, Filtertausch, Wartung) selbst bezahlen.

Einige Hersteller haben ihre Geräte bereits werksseitig gedrosselt. Eigentlich könnte das Gerät eines bestimmten Herstellers 1 600 m<sup>3</sup>/h leisten, ist aber begrenzt auf 750 m<sup>3</sup>/h. Einige Bundesländer sind von der Forderung eines sechsfachen Luftwechsels abgerückt und fordern nur noch fünffach, UBA und VDI sogar nur noch „vierfach“. BSB-Handreichung: „Für leisen Unterricht (z. B. Klassenarbeit) sollten 45 Dezibel nicht überschritten werden, viele Geräte sollten daher nicht auf der höchsten Stufe, sondern im mittleren Lastbereich eingestellt werden“ (Behörde für Schule und Berufsbildung 2021).

## Schalleistungspegel der Geräte

Aus einigen wenigen erhältlichen Messberichten über die Messung von Schalleistungspegeln sind die Messwerte in der Abbildung 1 in Abhängigkeit vom Volumen-

strom dargestellt. Bei der rot gestrichelten Kurve musste die Zuordnung geschätzt werden, weil die Schalleistungspegel dort nur in Relation zur Drehzahl angegeben sind, nicht jedoch zum Luftvolumenstrom. Ein Hersteller war nicht bereit, die (offenbar vorhandenen) Schalleistungspegelangaben zur Verfügung zu stellen.

Die beiden blauen Linien kennzeichnen die Messwerte an Geräten von zwei verschiedenen Baugrößen desselben Herstellers. Deutlich kann man erkennen, dass das größere Gerät bei gleichem Volumenstrom um etwa 7 dB leiser ist. Auch dieses erfüllt aber noch nicht die Anforderungen. Selbst dort ist bei 1 200 m<sup>3</sup>/h ein erheblicher Abstand von der grünen Soll-Linie vorhanden. Das größere Gerät ist nicht nur leiser, sondern es benötigt auch weniger als 50 % der elektrischen Leistung des kleinen, ist allerdings in der Anschaffung teurer.

## Schallpegelmessungen in Klassenräumen

Die Klassenräume der eigenen Schallmessungen hatten durchgängig ein Volumen von etwa 200 m<sup>3</sup>, zwei Pausenhallen jeweils etwa 350 m<sup>2</sup>. In 1,0 m Abstand von der Gerätevorderseite wurden die Schallpegel in 1,2 m Höhe (entspricht der Ohrhöhe sitzender Personen) gemessen. Soweit möglich erfolgten die Messungen auch bei verschiedenen Luftvolumenströmen. Beispielhaft sind in Abbildung 2 die Messergebnisse eines Geräts mit drei Schaltstufen und ungünstiger Luftführung aufgrund scharfer Kanten dargestellt. Der maximale Volumenstrom beträgt nach Herstellerangabe ca. 600 m<sup>3</sup>/h. Gegenüber dem Grundgeräuschpegel im Raum von 24 dB(A) ergeben sich in den drei Schaltstufen 32, 42 und 56 dB(A). Das Spektrum wird immer breiter; die Zischgeräusche an den scharfen Kanten nehmen deutlich zu. Die damit verbundene Auswirkung auf die Sprachverständlichkeit wird weiter unten beschrieben.

Deutlich günstiger ist die Situation bei dem Gerät (mit nachträglich aufgesetztem Schalldämpfer) eines anderen Herstellers mit sechs Stufen nach Abbildung 3. Durch eine günstigere Luftführung tritt das Zi-

Abbildung 1: Schalleistungspegel von Luftfilteranlagen relativ zum Luftvolumenstrom, grüne horizontale Linie: maximal zulässiger Schalleistungspegel für Klassenräume

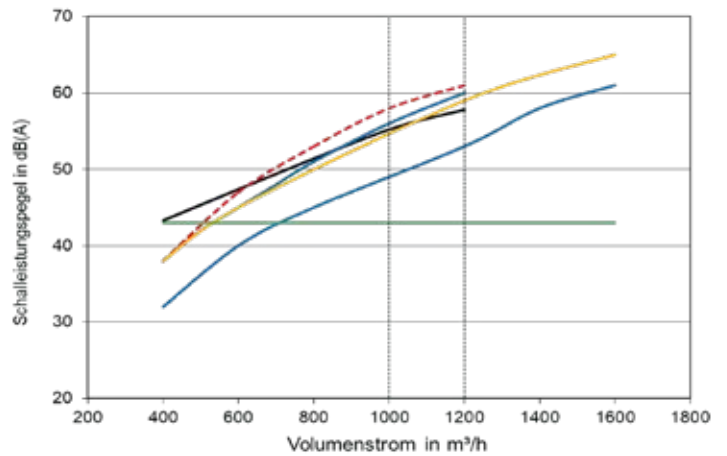


Abbildung 2: 1-m-Schallpegel eines Geräts mit drei Schaltstufen und ungünstiger Luftführung, Zischgeräusche durch scharfe Kanten

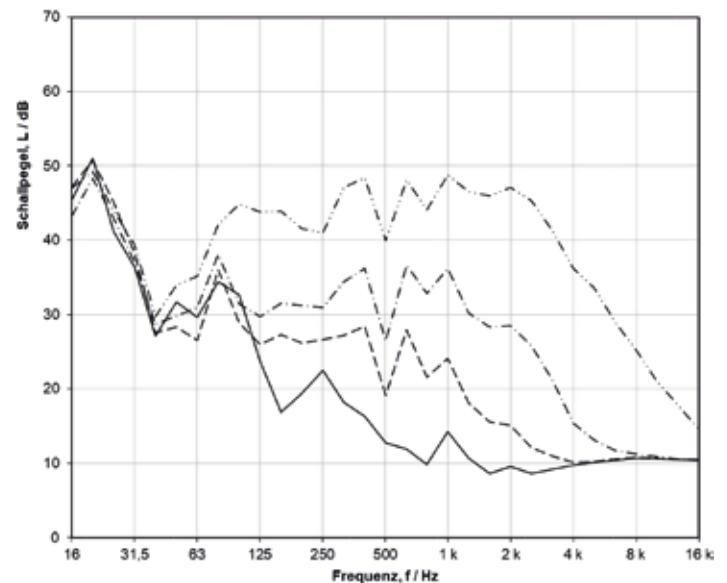
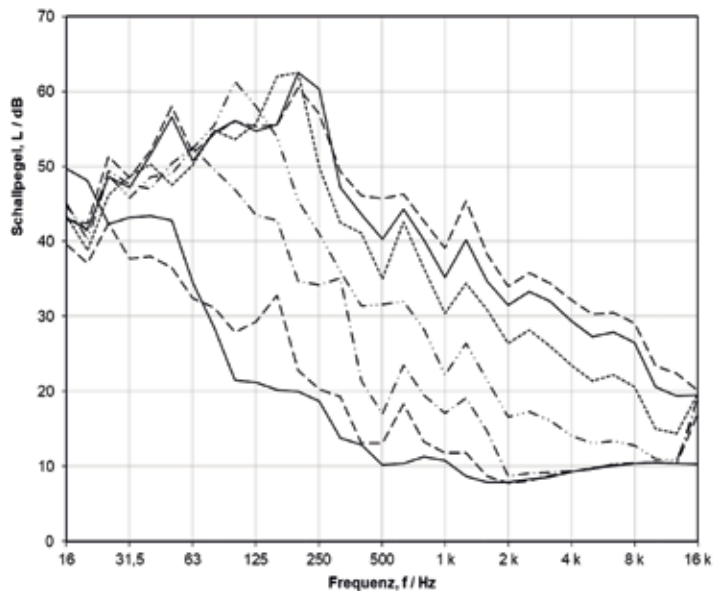


Abbildung 3: Schallpegelspektren eines Geräts mit sechs Stufen



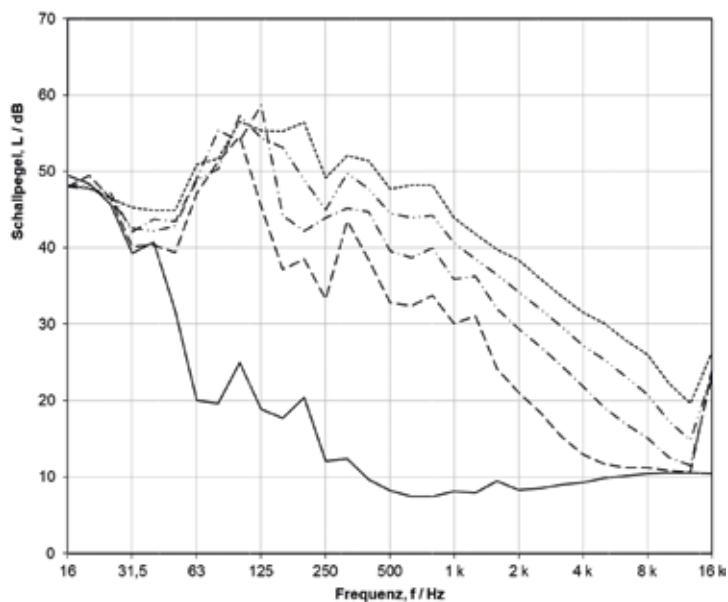


schen nicht auf. Dennoch werden auch hier 57 dB(A) erreicht, allerdings in der höchsten Stufe bei ca. 1 100 m<sup>3</sup>/h. Für diese beiden Geräte sind keine Herstellerangaben zu den Volumenströmen der verschiedenen Schaltstufen erhältlich. Nur die maximalen Volumenströme sind den Datenblättern zu entnehmen.

Ein weiterer Hersteller zeigt an einem Display die Luftvolumenströme in 5%-Schritten der maximalen Leistung von 740 m<sup>3</sup>/h an. Zwischen 40 % und 100 % steigt der Schallpegel von 43 dB(A) auf 56 dB(A). Bei diesem Gerät treten kaum Zischgeräusche auf, weil direkt unter dem Ausblaskgitter noch ein Vlies angebracht ist. Auffällig ist bei diesem Gerät in Abbildung 4, dass bei 16 000 Hz der Schallpegel kräftig ansteigt (bis auf 26 dB). Solche Pfeifgeräusche können für gesunde junge Ohren, bei denen der Hörbereich noch bis 20 000 Hz reicht, ausgesprochen störend wirken.

Anlässlich der Schallpegelmessungen stand kein Messgerät zur Ermittlung des tatsächlich vorhandenen Luftdurchsatzes zur Verfügung. Einige Regler arbeiten in Stufen, andere stufenlos. Deshalb war der Volumenstrom lediglich gezielt zu schätzen oder den teilweise vollmundigen Herstellerangaben zu vertrauen. Auch die Filter-

Abbildung 4: Schallpegelspektren für 40, 60, 80 und 100 % Luftvolumenstrom von 740 m<sup>3</sup>/h



zustände und die ggf. durch Verschmutzung bewirkte Reduzierung der Luftmenge sind unbekannt. Nicht in jedem Fall erscheinen die Herstellerangaben (im Verhältnis zum gemessenen Schallpegel) glaubhaft.

Der Abschlussbericht des IGTE (Siebler et al. 2021) an der Universität Stuttgart zu einem Pilotprojekt an Stuttgarter Schulen kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Bei insgesamt elf untersuchten Klassenräumen

waren nur in zwei die Schallpegel kleiner als 40 dB(A), in sieben Fällen wurden aber mehr als 45 dB(A) gemessen.

### Schallpegelabnahme im Raum

Auch die Schallpegelabnahme innerhalb des Klassenraums gegenüber den Werten in 1 m Abstand ist von Interesse, um die Geräuscheinwirkungen an verschiedenen

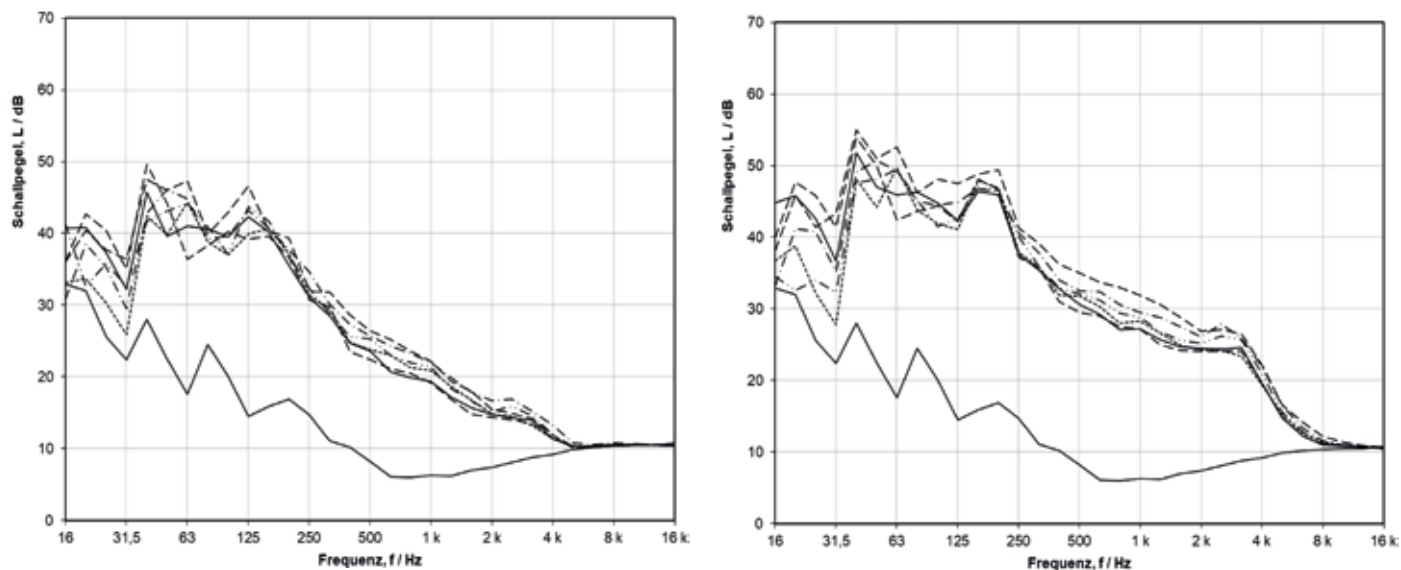


Abbildung 5: Schallpegelspektren im Klassenraum von 1 m bis 6 m Abstand, links: vorgefundener Zustand, rechts: maximale Förderleistung

Sitzplätzen errechnen zu können. Dazu wurden in gegenseitigen Abständen von jeweils 1,0 m – wiederum auf Ohrhöhe sitzender Personen – die dort vorhandenen Schallpegel gemessen. Für einen guten Signal-Rausch-Abstand (Abstand des zu messenden Schallpegels vom im Raum vorhandenen Fremdgeräusch) erfolgten diese Messungen grundsätzlich bei der höchsten Fördermenge, teilweise zusätzlich auch bei der vorgefundenen Einstellung. Die Abbildungen 5a und 5b zeigen beispielhaft solche Messergebnisse für die vorgefundene und die maximale Einstellung.

Deutlich ist zu erkennen, dass die Schallpegelabnahme innerhalb des Klassenraumes gegenüber den Werten in einem Abstand von 1,0 m hinten vor dem Gerät (also an den Schüler\*innensitzplätzen) bis hin zu einem Abstand von 6,0 m vorne vor der Tafel (beim Lehrerstandort) relativ gering ist. Hier liegt also eine sogenannte „Hallfeld-Situation“ vor. In Abbildung 6 sind die A-bewerteten Gesamtschallpegel der obigen Spektren in Abhängigkeit vom Abstand vom Gerät dargestellt. In beiden Fällen nimmt der Schallpegel von 1 m bis 6 m Abstand nur um etwa 3,5 dB ab. Als grüne horizontale Linie ist der Sollwert für den im Klassenraum einzuhaltenden Störgeräusch-Schallpegel von maximal 35 dB(A) nach DIN 4109, DIN 18041 und VDI 2081 bzw. ASR A3.7 ebenfalls eingetragen.

Anhand der roten Kurve im Vergleich mit der grünen 35-dB-Linie in der Grafik wird erkennbar, warum dieses Gerät herstellerseitig auf nur 750 m<sup>3</sup>/h gedrosselt wurde: Dann kann nämlich ab etwa 3 m Abstand vom Gerät der Wert von 35 dB(A) eingehalten werden. Dabei nimmt man dann offenbar billigend in Kauf, dass die geforderte sechsfache Luftumwälzung nicht erreicht wird. Würde man zwei dieser Geräte im Raum aufstellen, dann wären durch die Überlagerung der Geräusche überall im Klassenraum die 35 dB(A) überschritten. Zwei Geräte wären dann verbunden mit doppelten Anschaffungs- und auch doppelten Betriebskosten (bei unveränderter finanzieller Förderung).

Etliche Hersteller beschreiben im Internet eine Schallpegelabnahme, welche sich

Abbildung 6: *Abstandsabhängige Minderung der A-bewerteten Gesamtschallpegel in einem Klassenraum für die vorgefundene und maximale Luftförderleistung im Vergleich zum Sollwert von maximal 35 dB(A)*

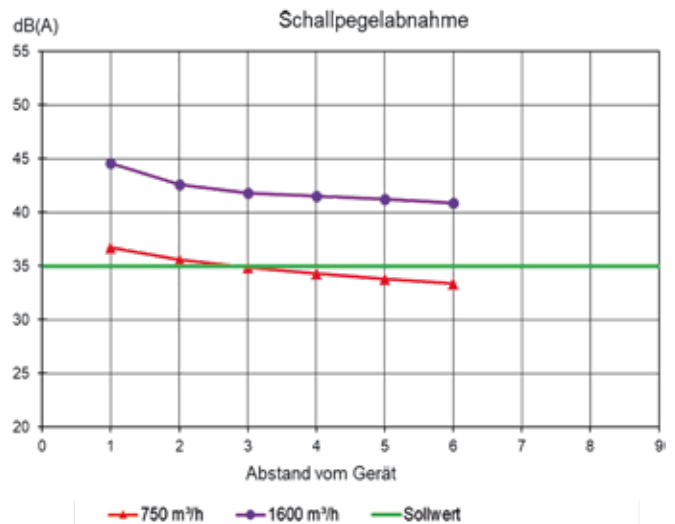
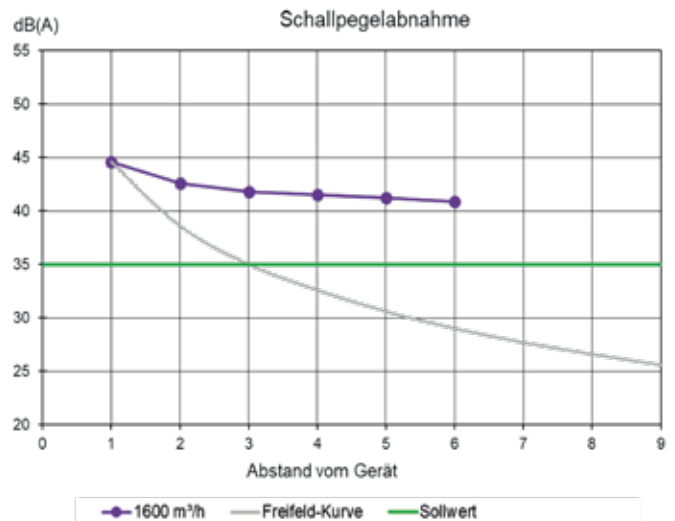


Abbildung 7: *Abstandsabhängige Minderung der A-bewerteten Gesamtschallpegel in einem Klassenraum für die vorgefundene und maximale Luftförderleistung im Vergleich zur Schallausbreitung im Freifeld*



an der Situation im akustischen Freifeld (Abbildung 7, graue Kurve) orientiert. Danach soll der Schallpegel bis 10 m Abstand um 20 dB geringer werden. In typischen Klassenräumen liegt die maximale Messentfernung bei etwa 6 oder 7 m, in großen Räumen auch mal 8 m (und je nach Position des Geräts im Raum auch weniger), 10 m werden aber nie erreicht. Deshalb liegen für diesen Abstand keine eigenen Messwerte vor. Die Differenz zwischen Theorie (Freifeld) und Realität (Hallfeld) ist dennoch sehr gut erkennbar. In realen Räumen nimmt der Schallpegel also deutlich weniger ab als im Freifeld (im Freien oder im reflexionsfreien „schalltoten“ Schallmessraum).

Mit dieser Internetdarstellung entsprechend der unteren grauen Kurve wird den Käufern der Geräte vorgegaukelt, auch bei voller Leistung sei ab etwa 3 m Abstand von der Raumluftfilteranlage „die Welt wieder in Ordnung“. Tatsächlich ist das hier betrachtete Gerät dort aber noch um 7 dB zu laut. Auch sitzen die Schüler\*innen teilweise weniger als 1 m vom Gerät entfernt, denn die Geräte werden im Klassenraum nicht unter akustischen Aspekten aufgestellt, sondern dort, wo noch Platz ist.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die in den verschiedenen Schulen bzw. Räumen – teilweise bei unterschiedlichen Betriebszuständen – aufgenommenen Schalldruck-

pegelmesswerte. Die zugehörigen Volumenströme entstammen Herstellerangaben und/oder Anzeigen am Lüftungsgerät. Auch die Messwerte für 5 m Abstand und die Differenz zu 1 m sind für die entsprechenden Messungen aufgeführt. Alle Messwerte sind auf volle dB gerundet. Die farbigen Markierungen kennzeichnen den jeweiligen Betriebszustand, der beim Betreten des Raumes vorgefunden wurde.

Tabelle 1: Übersicht der Schalldruckpegelmesswerte der untersuchten Räume und Geräte in Abhängigkeit vom Volumenstrom

Raum	ca. Volumenstrom in m³/h	L <sub>p,1m</sub> in dB(A)	L <sub>p,5m</sub> in dB(A)	L <sub>p,1m</sub> - L <sub>p,5m</sub> in dB
S1 K1	Stufe 1	32		
S1 K1	Stufe 2	42		
S1 K1	Turbo 600	56	47	9
S1 K2	300	43		
S1 K2	450	49		
S1 K2	590	52		
S1 K2	740	56	48	8
S2 K1	200	24		
S2 K1	400	33		
S2 K1	*600	45		
S2 K1	800	53		
S2 K1	1000	55		
S2 K1	1200	57	53	4
S2 K2	200	26		
S2 K2	400	37		
S2 K2	*600	47		
S2 K2	800	54		
S2 K2	1000	55		
S2 K2	1200	57	51	6
S2 P1	Automatik	45	40	5
S2 P2	Automatik	45	39	6
S3 K1	750	37	33	4
S3 K1	1200	45	41	4
S4 K1	800	39		
S4 K1	1200	46	42	4

\* Die Einstellung auf Stufe 3 ist vom Schulträger vorgegeben und wurde offenbar strikt befolgt. Anders sind die im Vergleich zu den anderen Messorten hohen Werte nicht zu erklären. Die hohe Pegeldifferenz bei dem Gerät S1 K2 von 9 dB ist durch die Aufstellung des Geräts in einer Nische und den dadurch höheren Richtungsfaktor erklärbar. Die Freifeldpegelabnahme nach Abbildung 7, graue Kurve, von 13 dB in 5 m Abstand wird nirgends erreicht.

## Nachhallzeitmessungen

Für die Charakterisierung der akustischen Situation im Messraum ohne Personen erfolgten Nachhallzeitmessungen (DIN e. V. 2008). In diesem Zustand des Raumes für das hier beispielhaft vorgestellte Gerät beträgt die über den gesamten ausgewerteten Frequenzbereich gemittelte Nachhallzeit T<sub>m</sub> = 0,65 s. Diese Messungen sind für die Umrechnung der Gerätedaten vom Schalleistungspegel (Geräte-Kenngröße) auf den Schalldruckpegel im Raum (Immissionskenngröße) erforderlich. Bei einem Volumen des Raumes S3 K1 von etwa V = 200 m<sup>3</sup> errechnet sich nach der Sabine'schen Nachhallgleichung eine vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche von etwas mehr als A = 50 m<sup>2</sup>.

Der Hallradius r<sub>H</sub> in der letzten Spalte der Tabelle kennzeichnet den Abstand, in dem bei einer punktförmigen Schallquelle der Direktschallpegel und der von den Schallreflexionen an den Raumbegren-

zungsflächen erzeugte Diffusschallpegel gleich groß sind. Außerhalb des Hallradius nimmt der Schallpegel kaum noch ab.

## Schalleistungspegel / Schalldruckpegel

Die Differenz zwischen Schalleistungspegel und Schalldruckpegel wird für punktförmige Schallquellen wie folgt errechnet:

$$L_w - L_p = 10 \times \log \left( \frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{A} \right)^{-1} \quad (1)$$

Der erste Term in der Klammer beschreibt die durch den Abstand r bewirkte Pegelminderung, der zweite die Pegelminderung durch die Schallabsorption A. Im Freifeld ist die Schallabsorptionsfläche A „näherungsweise unendlich“, der zweite Term also nahe bei 0, der erste Term dominiert. In geschlossenen Räumen wird dagegen der erste Term schon bei geringen Abständen deutlich kleiner als der zweite, sodass letzterer voll wirk-

Tabelle 2: Akustisch wichtige Daten der untersuchten Räume

Raum	Volumen V in m³	Nachhallzeit T <sub>m</sub> in s	Absorptionsfläche A <sub>m</sub> in m²	Hallradius r <sub>H</sub> in m
S1 K1	175	0,39	73	1,19
S1 K2	188	0,38	84	1,25
S2 K1	210	0,50	70	1,15
S2 K2	210	0,45	75	1,21
S2 P1	375	0,81	71	1,20
S2 P2	375	1,25	55	0,97
S3 K1	200	0,65	52	0,98
S4 K1	189	0,50	61	1,09

Tabelle 3: Rechnerisch zu erwartende Pegelminderungen im Klassenraum S3 K1

Abstand	Q / 4 π r²	4 / A	Summe	L <sub>w</sub> - L <sub>p</sub>
1 m	1 / 3,1	1 / 12,5	0,398	4,0 dB
2 m	1 / 12,5	1 / 12,5	0,160	8,0 dB
3 m	1 / 28,3	1 / 12,5	0,115	9,4 dB
4 m	1 / 50,3	1 / 12,5	0,098	10,0 dB
5 m	1 / 78,5	1 / 12,5	0,093	10,3 dB
6 m	1 / 113,1	1 / 12,5	0,088	10,4 dB
7 m	1 / 153,9	1 / 12,5	0,086	10,6 dB
8 m	1 / 201,1	1 / 12,5	0,085	10,7 dB
9 m	1 / 254,5	1 / 12,5	0,084	10,8 dB
10 m	1 / 314,1	1 / 12,5	0,083	10,8 dB

sam ist. Dann befindet man sich außerhalb des Hallradius. Dadurch sind die extrem unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen im Freifeld und im Raum begründet.

Bei Aufstellung des Gerätes vor zwei schallharten Flächen (auf dem Fußboden, vor einer Wand) beträgt der Richtungsfaktor  $Q = 4$ . Rechnerisch erhält man damit bei  $A = 50 \text{ m}^2$  für verschiedene Abstände von einer näherungsweise punktförmigen Schallquelle Pegelminderungen  $L_W - L_p$  nach Tabelle 3.

Gut ist zu erkennen, dass bei 2 m Abstand beide Summanden gleich groß sind und ab 3 m Abstand der zweite Klammerterm dominiert. Bei dem Richtungsfaktor  $Q = 4$  verdoppelt sich der Hallradius. Für S3 K1 wurde er oben mit knapp 1 m errechnet, hier beträgt er entsprechend 2 m.

Nach der reinen Physik dieser Berechnung ist die Pegelabnahme zwischen den Abständen von 1 m und 6 m mit  $10,4 \text{ dB} - 4,0 \text{ dB} = 6,4 \text{ dB}$  augenscheinlich doch größer als im Raum S3 K1 gemessen. Das ist aber nicht etwa durch fehlerhafte Messungen begründet, sondern durch Abweichungen der physikalischen Annahmen von der Realität:

- Die Raumlufftfilteranlage ist keine punktförmige, sondern eine großflächige Schallquelle.
- Die maßgeblichen schallabstrahlenden Öffnungen der Raumlufftfilteranlage befinden sich nicht direkt vor dem Messmikrofon, sondern am Fußboden und (bei dem hier betrachteten Gerät) in etwa 2 m Höhe.

Dadurch liegen die ersten Messpunkte noch im Nahfeld des Geräts, wo die Pegelabnahme deutlich geringer ist als bei einer Punktschallquelle. Zwischen 3 m und 6 m Abstand nimmt der Schallpegel rechnerisch um  $10,4 \text{ dB} - 9,4 \text{ dB} = 1,0 \text{ dB}$  ab. Das stimmt wiederum mit der messtechnischen Wirklichkeit nach Abbildung 7 gut überein.

Der Bedienungsanleitung ist für den Luftvolumenstrom von etwa  $750 \text{ m}^3/\text{h}$  ein Schallleistungspegel von  $L_{WA} = 45 \text{ dB(A)}$  zu entnehmen. Mit der obigen Berechnung für den hier vorhandenen Klassenraum ergibt sich, dass der Schalldruckpegel in 3 m Ab-

stand von der Schallquelle um etwa 9 dB und bei größeren Abständen um bis zu 11 dB geringer ist als der Schallleistungspegel. Mit  $L_p = 45 \text{ dB(A)} - 9 \text{ dB} = 36 \text{ dB(A)}$  und  $45 \text{ dB(A)} - 11 \text{ dB} = 34 \text{ dB(A)}$  ist eine gute Übereinstimmung zu den Messwerten nach Abbildung 6, untere Kurve, vorhanden.

Rechnet man die Nachhallzeit nach DIN 18041, Anhang A3, vom unbesetzten auf den zu 80 % besetzten Zustand um, so erhöht sich bei Kindern der Primarstufe die äquivalente Schallabsorptionsfläche für den besetzten Zustand um etwa  $\Delta A = 5 \text{ m}^2$ . Damit errechnet sich für das Fernfeld eine Pegelminderung  $L_W - L_p = 11,3 \text{ dB}$ . Gegenüber dem in der Tabelle 3 (letzte Zeile, rechte Spalte) errechneten Wert von 10,8 dB ist das Gerät dann also nur um 0,5 dB leiser.

## Sprachverständlichkeit

In Bezug auf den Unterrichtserfolg ist die Veränderung der Sprachverständlichkeit unter Einwirkung der dauerhaften Störgeräusche besonders interessant. Deshalb wurde bei den beiden Betriebsstufen der Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index (STI)) (DIN e. V. 2012) sowohl ohne als auch mit Störgeräuschen in der Ausbreitungsrichtung von Lehrerstandort mittig vor der Tafel nach hinten in der Nähe der Raumlufftfilteranlage gemessen. Um in verschiedenen Schulen und verschiedenen Klassenräumen dennoch vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, erfolgten die Messungen jeweils auf einer geraden Ausbreitungslinie. Sie ist in dem Foto mar-

kiert (siehe Abbildung 8). Im gelben Kreis befindet sich der Messlautsprecher (die Lehrernachbildung), der senkrechte Pfeil weist auf die Raumlufftfilteranlage hin, die grüne Linie zeigt den Messpfad.

Ohne die Geräuscheinwirkungen der Raumlufftfilteranlage ist der STI nach Abbildung 9 auch über große Entfernungen sehr gut und sinkt auch bei 7 m Abstand nur knapp unter  $STI = 0,75$  ab. Geringfügig schlechter wird die Situation mit den Geräuschen der Luftfilteranlage. Bei der (gedrosselten) Betriebsstufe mit  $750 \text{ m}^3/\text{h}$  mit einem Schalldruckpegel im Raum um etwa  $35 \text{ dB(A)}$  wirkt sich die Raumlufftfilteranlage nur in den großen Abständen vom Lehrerstandort aus. Dort ist der Sprachpegel des Lehrers am geringsten und die Geräuscheinwirkung der Luftfilteranlage am höchsten.  $STI = 0,75$  wird ab etwa 4,5 m unterschritten. Daraus ergibt sich der interessante Hinweis, dass die Vorgabe von  $L_{NA, \text{Bau}} \leq 35 \text{ dB(A)}$  in der Raumakustiknorm DIN 18041 offenbar sachgerecht ist.

Bei Schallpegeln der Raumlufftfilteranlage zwischen  $41 \text{ dB(A)}$  vorne in Lehrernähe und  $44 \text{ dB(A)}$  hinten in der Nähe des Geräts wird die Situation deutlich schlechter. Bereits in 1 m Abstand ist die Veränderung von 0,90 auf 0,87 nachweisbar, welche mit zunehmendem Abstand vom Lehrer, aber geringerem Abstand vom Lüftungsgerät deutlich anwächst. In 7 m Abstand wird statt  $STI = 0,74$  nur noch 0,57 erreicht. Insbesondere beim Fremdsprachenunterricht sowie für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache oder mit Hörschädigung sind solche Störgeräusche und



Abbildung 8: Geradliniger Messpfad von vorne nach hinten im Raum S3 K1



damit verbundene Verschlechterungen der Sprachverständlichkeit nicht akzeptabel und gefährden erheblich den Unterrichtserfolg. Dabei ist die hohe Betriebsstufe dieses Geräts noch nicht einmal ausreichend, um die geforderte sechsfache Luftumwälzung sicherzustellen.

In einer anderen Schule (S1 K1) stehen mehrere kleine Raumluftfilteranlagen mit maximalen Volumenströmen von jeweils 600 m<sup>3</sup>/h im Raum verteilt (siehe Abbildung 10). Dadurch befinden sie sich näher an den Schülerplätzen und wirken sich noch stärker auf die Sprachverständlichkeit aus. Ohne die Geräuscheinwirkungen der Luftfilteranlagen ist der STI auch hier hervorragend und sinkt bis hinten nicht unter 0,75 ab. Das ist bei der ausgesprochen günstigen Nachhallzeitsituation in dieser Förderschuleinrichtung für Kinder mit Hörschädigung ( $T_m = 0,39$  s,  $A = 73$  m<sup>2</sup>) auch nicht anders zu erwarten.

Deutlich schlechter wird die Situation aber sofort, wenn die Geräusche der Raumluftfilteranlagen hinzukommen. Die Messungen wurden bei der höchsten Betriebsstufe ausgeführt, weil diese für eine sachgerechte Luftumwälzung erforderlich ist (zwei Geräte je 600 m<sup>3</sup>/h). Bei den Messungen war aber nur eine der beiden Anlagen in Betrieb, damit die Messsituation übersichtlich blieb. Im tatsächlichen Betriebsfall sind die Werte also noch ungünstiger als hier gemessen. Sie sinken bereits mit nur einem Gerät unter STI = 0,45 ab (teilweise deutlich), fallen also für gut Hörende in die Kategorie „schlecht“ und sind für die dortigen Kinder mit Hörschädigung völlig inakzeptabel! Der rot markierte Messpfad führt in Richtung zu den Sitzplätzen in der Nähe der Raumluftfilteranlage, der grün markierte schräg davon weg zur Tür. Der Messlautsprecher strahlte geradeaus von der Tafel nach hinten.

Das hier aufgestellte Gerät hat am Ausblasgitter scharfe Kanten, an denen die Zischgeräusche entstehen, auf die bereits im Zusammenhang mit der Abbildung 2 hingewiesen wurde. Während bei der Situation nach Abbildungen 8 und 9 mit einem mehr niederfrequenten Rauschen „nur“ eine Verschlechterung auf STI = 0,57 gemessen wur-

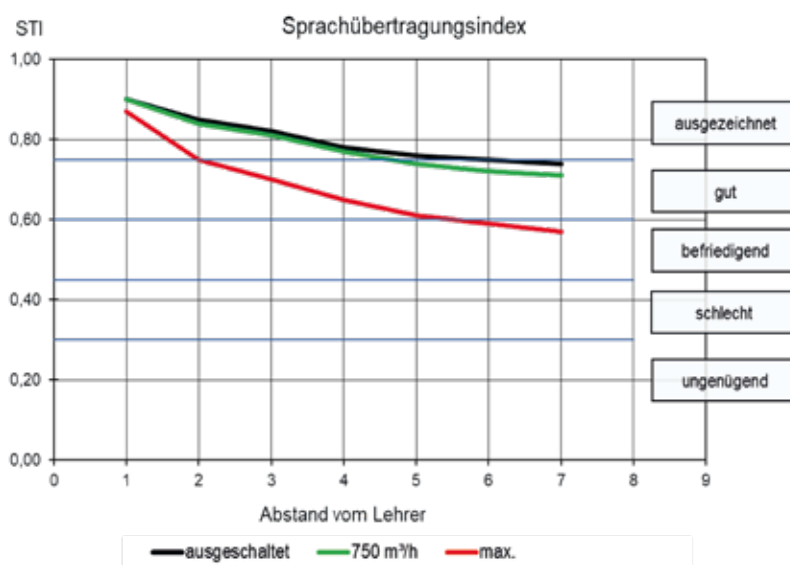


Abbildung 9: Sprachübertragungsindex ohne und mit Geräuschen der Raumluftfilteranlage des Raumes S3 K1 in (zu) niedriger und maximaler Stufe

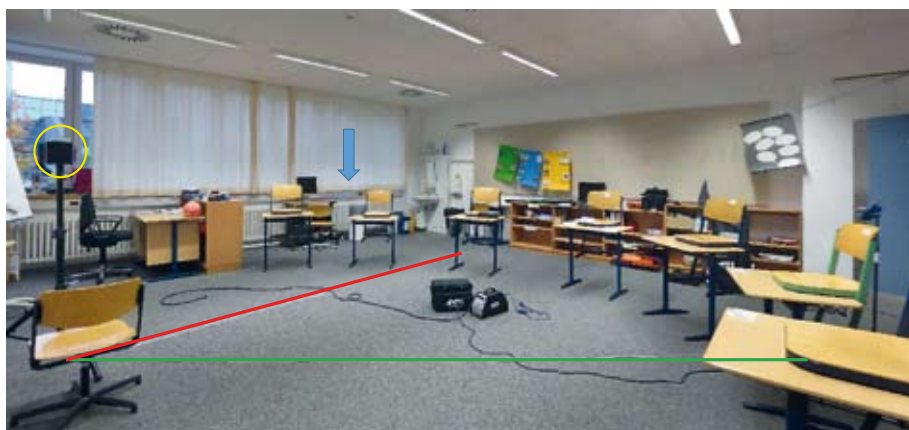


Abbildung 10: Geradlinige Messpfade im Raum S1 K1 in Richtung zur Raumluftfilteranlage und davon abgewandt; der Messlautsprecher strahlt zur Klassenraum-Rückwand

de, verringert sich der Sprachübertragungsindex durch die starken Zischgeräusche nach Abbildung 11 bis auf STI = 0,34 herab.

In diesem Raum konnte auch mit Bezug auf die Sitzplätze gemessen werden. Weil die sieben Sitzplätze im Halbkreis aufgestellt sind, bestand eine sehr übersichtliche Situation. In Abbildung 10 ist auch gut zu erkennen, dass die Luftfilteranlage in der Nähe der Sitzplätze 1 und 2 steht. Entsprechend ist dort nach Abbildung 12 beim Einschalten dieser Anlage der STI am schlechtesten.

## Prüfung der Luftströmungen

Die Untersuchungen zur Reinigungsleistung dezentraler Raumluftfilteranlagen (Kähler et al. 2020) fanden zwar in einem klassenraumähnlichen Raum mit 200 m<sup>3</sup> Luftvolumen statt, aber anders als dort war dieser Raum (mit Ausnahme der Messgeräte) völlig leer. Das ist aber keine „Prüfung im Labor unter realraumähnlichen Bedingungen“, wie in VDI-EE 4300-14 gefordert.

Für die dortigen Untersuchungen wurde ein Lüftungsgerät mit einer Bauhöhe von

1,3 m, unterer Ansaugung und oberem Ausblas in alle vier Himmelsrichtungen verwendet. Bei den eigenen Messungen waren die größten Geräte knapp 2,3 m hoch und die kleinsten nur 0,7 m. Alle saugen ebenfalls in Fußbodennähe an und blasen nach oben aus. Geräte weiterer Hersteller saugen seitlich an und blasen auch seitlich aus. Bei einer Bauhöhe von nur etwa 1,0 m geht deren Luftströmung direkt in Richtung der Kinder, sodass Zuglufterscheinungen zu erwarten sind. Auch wird die freie Abströmung der Luft in die Raumtiefe hinein durch Tische, Stühle, Schultaschen und Beine unterbunden. In dem Forschungsbericht wird darauf hingewiesen, dass sogar Leuchtenbänder (wie auf dem Foto abgebildet) die Luftströmung abwärts lenken und nicht in die Raumtiefe kommen lassen. In einer Schule hingen gebastelte Lampions unter der Decke, welche sich in der großen Leistungsstufe im Luftstrom bewegten, in der reduzierten jedoch nicht.

Oben wurde bereits mehrfach auf den eigentlich erforderlichen Luftdurchsatz der Anlagen für eine sechsfache Luftumwälzung je Stunde hingewiesen. Weil die überprüften Geräte alle im vorgefundenen Zustand deutlich niedriger eingestellt waren (und zum Teil sogar begrenzt sind), war auch die Frage interessant, wie weit die an der Oberseite ausgeblasene Luft in die Raumtiefe geblasen wird und wie weit sich echte Luftströmungen anstelle turbulenter Luftwirbel nachweisen lassen. Hierzu wurden mit Dräger-Prüfröhrchen über/neben der Ausblasseite sowie in Fußbodennähe an der Ansaugseite Rauchschwaden erzeugt und die Luftbewegungen beobachtet (siehe Abbildung 13). Dabei waren in jeder Schule auch weitere Beobachter anwesend. Ansonsten war der Raum aber unbesetzt. Bei Betrieb des Geräts mit Teillast war oben bis etwa 1 m Abstand eine Luftbewegung zu beobachten, unten bewegte sich die Luft völlig ungerichtet, sodass sie nur aus nächster Nähe angesaugt wurde.

Im Volllastbetrieb der Geräte war in Deckennähe bis etwa ein Drittel der Raumtiefe eine gewisse horizontale Luftbewegung zu beobachten, dort zeigte sich aber bereits eine Abwärtsbewegung. Der übrige Raumteil erhält demnach auch bei der Soll-Betriebsstufe keine gefilterte Luft. Auch hinter

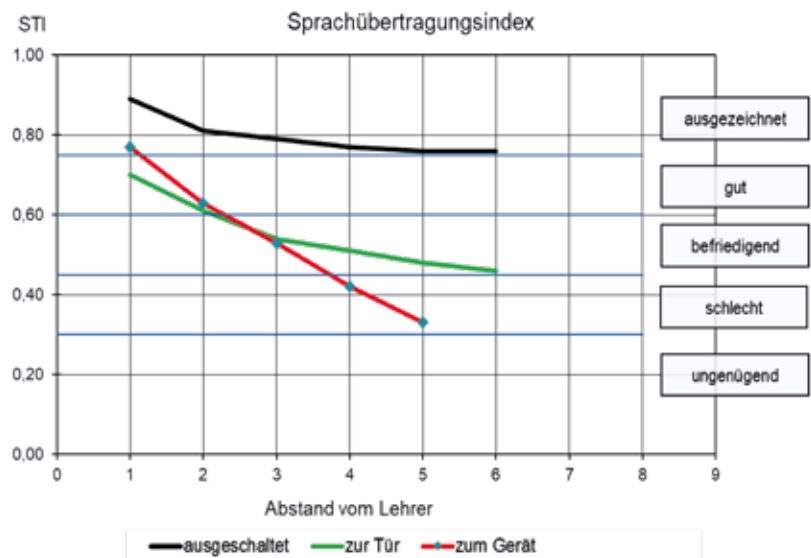


Abbildung 11: Sprachübertragungsindex im Raum S1 K1 ohne und mit Geräuschen der Raumluftfilteranlage in beiden Messrichtungen

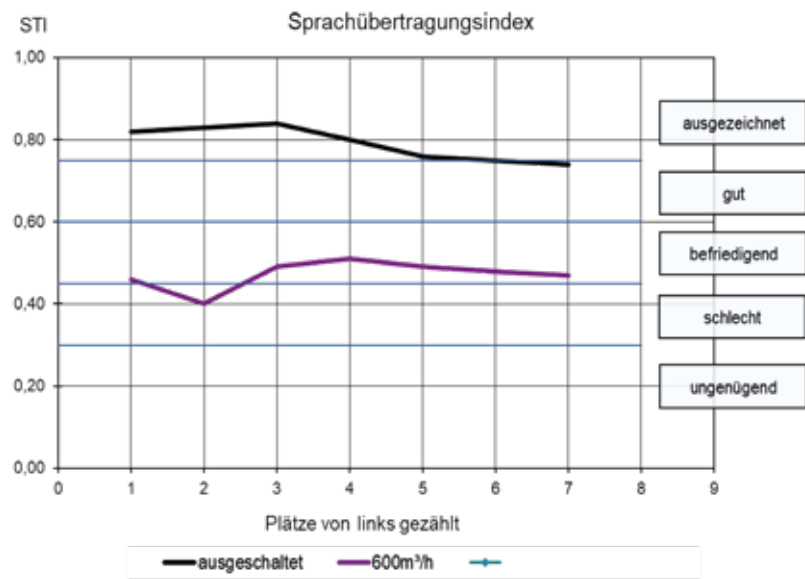


Abbildung 12: Sprachübertragungsindex ohne und mit Geräuschen der Raumluftfilteranlage an den einzelnen Sitzplätzen im Raum S1 K1



Abbildung 13: Strömungsprüfröhrchen mit Rauchschwaden

den Lampions war keine nennenswerte Luftströmung mehr erkennbar.

Noch ungünstiger als im unbesetzten Raum wird die Situation, sobald auch die Kinder anwesend sind und dadurch zusätzliche Luftturbulenzen und Thermik entstehen. Auch in dem Forschungsbericht wird auf den negativen Einfluss von Thermik

hingewiesen, welche eine reguläre Luftströmung zunichtemachen könne. 25 Kinder erzeugen im Unterricht eine thermische Leistung von 2,5 bis 3,0 kW, also eine durchaus maßgebliche Größenordnung.

Ein Hausmeister wies darauf hin, dass er das nur 0,7 m niedrige Gerät geradezu als gefährlich empfinde, weil die Ausblasöffnung noch unter der Kopfhöhe von Kindern liegt. Sollte ein Kind in Richtung zum Gerät niesen, dann würden die Viren vom Luftstrom mitgerissen und erst recht im Raum verteilt. Sie seien also eher „Virenschleudern“ als Virenfilter.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die überprüften Raumlüftfilteranlagen fördern bei Einstellung auf vertretbare Schallpegel an den Schüler\*innensitzplätzen nicht den Luftvolumenstrom von 1 200 m<sup>3</sup>/h, welcher in 200 m<sup>3</sup> großen Klassenräumen für einen sechsfachen Luftwechsel für erforderlich gehalten wird.

Bei nur etwa 700 bis 800 m<sup>3</sup>/h wird unter günstigen räumlichen Situationen ab etwa 3 m Abstand von den Anlagen der für einen sachgerechten Unterricht maximal zulässige bauseitige Störgeräuschpegel von  $L_{NA,Bau} = 35$  dB(A) gerade eingehalten. In diesem Zustand ist die Verschlechterung des Sprachübertragungsindex STI gering und akzeptabel.

Bei der Soll-Luftmenge von (etwa) 1 200 m<sup>3</sup>/h betragen die Störgeräuschpegel teilweise über 45 dB(A). Dann verschlechtert sich der STI in nicht mehr akzeptabler Größenordnung. Dadurch ist insbesondere beim Fremdsprachenunterricht sowie für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache oder mit Hörschädigung der Unterrichtserfolg erheblich gefährdet.

Bei der Überprüfung mit Rauchfahnen war auch bei der höchsten Luftmenge in den unbesetzten Räumen keine gezielte Durchlüftung des Gesamtraumes nachweisbar. Bei gedrosselter Luftmenge, Anwesenheit von Personen mit den von diesen bewirkten Verwirbelungen sowie Thermik wird die Situation noch ungünstiger.

In den Empfehlungen des Umweltbundesamtes zu Luftaustausch und effizientem Lüften zur Reduzierung des Infektionsrisikos durch virushaltige Aerosole in Schulen vom 22. Dezember 2021 heißt es u. a.: „Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass nur eine Kombination von möglichst vielen dieser Maßnahmen einen wirksamen Infektionsschutz erzielt:

- Maskentragen (bestenfalls vom Typ FFP 2)
- Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen durch intensive Zuführung von Außenluft (Lüften, RLT-Anlagen)
- zusätzlich zum Lüften können unterstützend auch mobile Luftreinigungsgeräte zum Einsatz kommen
- Abstand halten
- Einhaltung von Hygienemaßnahmen, insbesondere Händehygiene“ (Umweltbundesamt 2021b).

Bereits im Sommer 2020 hat das UBA Empfehlungen herausgegeben, welchen man dem Sinn nach entnehmen konnte: lüften – lüften – lüften! Das ist mit Sicherheit die bessere Methode, als sich in der falschen Sicherheit zu wiegen, die Raumlüftfilteranlage beseitige eventuell vorhandene Viren in ausreichendem Maße.

Die Filteranlagen können weder überschüssiges CO<sub>2</sub> noch ausgeatmeten Wasserdampf aus der Raumluft entfernen. Gelüftet werden muss also trotz solcher Filteranlagen. Deshalb wäre der (dann allerdings längerfristig zu realisierende) Einbau zentraler Lüftungsanlagen wesentlich sinnvoller, weil man sie bei Bedarf im reinen Frischluft-Fortluft-Betrieb fahren kann. Bei mehreren Zuluft- und Abluftöffnungen gewährleisten solche Anlagen die vollständige Luftdurchspülung des gesamten Raumes.

Dass richtiges und ausreichend häufiges Lüften den Unterrichtserfolg verbessert, belegt ein Forschungsbericht des ISF aus dem Jahr 2008, also lange vor der derzeitigen Coronapandemie, sehr deutlich. Dort wird geschlussfolgert:

- Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atemluft im Unterricht sollte den Pettenkofer-Wert von 1000 ppm nicht überschreiten.
- Lüften vor dem Unterricht – und Stoßlüftung nach 20 Minuten für zwei bis

drei Minuten – ist geeignet, den im Unterrichtsprozess ansteigenden Ermüdungsfaktor der schlechten Atemluft zu senken oder gar zu minimieren.

- Lüften während des gesamten Unterrichts mit Fenstern in Kippstellung ist ungeeignet, erhöht aber das von außen hereindringende Störgeräusch (Tiesler et al. 2009).

Der Vorschlag für eine kurze Lüftungspause in der Mitte einer 45-minütigen Unterrichtsstunde (und bei Doppelstunden entsprechend öfter) liegt also schon lange vor, nicht zur Verringerung eines Virenanteils, sondern des CO<sub>2</sub>-Anteils, siehe hierzu auch die Druckschrift des Hessischen Kultusministeriums (2008) „Frische Luft für frisches Denken“. Als kurzfristig hilfreich (und deutlich kostengünstiger als die Raumlüftfilteranlagen) können sich in diesem Zusammenhang empfindlich eingestellte CO<sub>2</sub>-Ampeln erweisen, welche an das erforderliche Querlüften erinnern.

**Autor:**

*Dipl.-Ing. Carsten Ruhe  
hörgerecht planen und bauen  
Rethwisch 10, 25497 Prisdorf  
www.carsten-ruhe.de*

### Literatur:

- Bayerische Staatskanzlei (Hrsg.) (2021) Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zum Verbesserung des Infektionsschutzes für die Betreuung von Kindern unter 12 Jahren in Schulen sowie in der Kindertagesbetreuung und in den Heilpädagogischen Tagesstätten der Jugend- und Behindertenhilfe (VISKu12-R). Online abrufbar unter: <https://www.verkuendung-bayern.de/files/baym-bl/2021/712/baymbl-2021-712.pdf> [03.02.2022]
- Behörde für Schule und Berufsbildung (2021) Mobile Luftreinigungsgeräte für die Unterrichtsräume, Handreichung v. 27. August 2021. Online abrufbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/15364346/6450c30118b5df09934c3ddecdf79015/data/b-brief-27-august-2021.pdf> [03.02.2022]
- BMAS (Bundesministerium für Arbeit und Soziales) (Hrsg.) (2021) Technische Regeln für Arbeitsstätten, Lärm ASR A 3.7 März 2021. Online abrufbar unter: [https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-7.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-7.pdf?__blob=publicationFile&v=4) [07.02.2022]
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020) Bekanntmachung der Richtlinie für die Bundesförderung Corona-gerechte Um- und Aufrüstung von raumlüfttechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden und Versammlungsstätten vom 13. Oktober 2020. Online abrufbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/richtlinie-bundesfoerderung-corona-gerechte-um-und-aufries>

- tung-von-raumluftechnischen-anlagen.pdf?\_\_blob=publicationFile&v=8 [03.02.2022]“
- DGUV (2021) Luftfilteranlagen in öffentlichen Gebäuden. Online abrufbar unter: <https://publikationen.dguv.de/detail/index/sArticle/4289> [03.02.2022]
- DIN e.V. (Hrsg.) (2008) DIN EN ISO 3382-2: 2008-09 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. Beuth-Verlag, Berlin
- DIN e.V. (Hrsg.) (2012) DIN EN 60268-16:2012-05 Elektroakustische Geräte, Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex. Beuth-Verlag, Berlin
- DIN e. V. (Hrsg.) (2016) DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Beuth-Verlag, Berlin
- DIN e. V. (Hrsg.) (2018) DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen. Berlin: Beuth-Verlag.
- GEW Gewerkschaft Unterricht und Erziehung (Hrsg.) (2022) GEW-Forderungen für Kitas und Schulen. Das muss sich in Bildungseinrichtungen ändern. Online abrufbar unter: <https://www.gew.de/corona/forderungen> [03.02.2022]
- Hengst SE (2022) Blue care\*. Effektiver Luftreiniger gegen Corona. Online abrufbar unter: <https://www.hengst.com/de/landingpages/luftreiniger/> [07.02.2022]
- Hessisches Kultusministerium (Hrsg.) (2008) Frische Luft für frisches Denken. Neue Unterrichtsqualität in unseren Klassenräumen. Online abrufbar unter: [https://www.landkreis-pfaffenhofen.de/media/9581/frische\\_luft\\_fuer\\_frisches\\_denken.pdf](https://www.landkreis-pfaffenhofen.de/media/9581/frische_luft_fuer_frisches_denken.pdf) [03.02.2022]
- Kähler CJ, Fuchs T, Hain R (2020) Können mobile Raumlufreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren? Online abrufbar unter: <https://www.unibw.de/lrt7/raumlufreiniger.pdf> [03.02.2022]
- Münstersche Zeitung (2021) Ruhestörer im Unterricht (12.10.2021)
- Ruhe C (2021) Zu laute Luftreinigeranlagen. In: Spektrum Hören 6, S. 5–7
- Siebler L, Rathje T, Calandri M, Eydner M, Vogt U, Henzler T, Stergiaropoulos K (2021) Pilotprojekt: Experimentelle Untersuchung zum Infektionsrisiko in Klassenräumen in Stuttgarter Schulen, Abschlussbericht vom 05.07.2021. Online verfügbar unter [https://www.stuttgart.de/service/aktuelle-meldungen/juli-2021/studie-mobile-luftreiniger-sind-keine-universaloesung-im-unterricht-stadtplant-anschaffung-nur-fuer-schlecht-belueftbare-unterrichtsraume.php.media/229720/2021-07-06-Abschlussbericht\\_Pilotprojekt\\_Luftreiniger\\_Klassenraum\\_Stuttgart\\_Finale-Version\\_06.07.2021.pdf](https://www.stuttgart.de/service/aktuelle-meldungen/juli-2021/studie-mobile-luftreiniger-sind-keine-universaloesung-im-unterricht-stadtplant-anschaffung-nur-fuer-schlecht-belueftbare-unterrichtsraume.php.media/229720/2021-07-06-Abschlussbericht_Pilotprojekt_Luftreiniger_Klassenraum_Stuttgart_Finale-Version_06.07.2021.pdf) [03.02.2022]
- Tiesler G, Schönwälder HG, Stöver F (2009) Gesundheitsfördernde Einflüsse auf das Leistungsvermögen im schulischen Unterricht, ein Beitrag zur Ergonomie der Schule. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- Trotec GmbH (o. J.) State-of-the-Art-Raumlufreiniger: Hochleistungsluftreiniger TAC V+ von Trotec. Online abrufbar unter <https://de.trotec.com/produkte-services/maschinen-highperformance/luftreinigung/raumlufreiniger-tac-v/> [03.02.2022]
- Umweltbundesamt (2021a) Lüftung, Lüftungsanlagen und mobile Luftreiniger an Schulen. Online abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luftung-lueftungsanlagen-mobile-luftreiniger-an> [03.02.2022]
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (2021b) Richtig Lüften in Schulen. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen#warum-ist-ein-regelmassiger-luftaustausch-in-klassenzimmern-grundsatzlich-wichtig-und-in-der-pandemie-umso-mehr> [03.02.2022]
- VDI (2019) VDI 2081 Blatt 1:2019-03 Raumluftechnik – Geräuscherzeugung und Lärminderung. Online abrufbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2081-blatt-1-raumluftechnik-gerauscherzeugung-und-laerminderung-1> [08.02.2022]
- VDI (2021a) VDI-EE 4300-14:2021-09 Messen von Innenraumlufverunreinigungen - Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten. Online abrufbar unter: <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-ee-4300-blatt-14-messen-von-innenraumlufverunreinigungen-anforderungen-an-mobile-luftreiniger-zur-reduktion-der-aerosolgebundenen-uebertragung-von-infektionskrankheiten> [03.02.2022]
- VDI (2021b) Informationen zum Einsatz von mobilen Luftreinigern, Auszüge aus der Expertenempfehlung VDI-EE 4300 Blatt 14. Online abrufbar unter: [https://www.vdi.de/fileadmin/pages/mein\\_vdi/redakteure/publikationen/Informationen\\_zum\\_Einsatz\\_von\\_mobilen\\_Luftreinigern.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/pages/mein_vdi/redakteure/publikationen/Informationen_zum_Einsatz_von_mobilen_Luftreinigern.pdf) [03.02.2022]
- VDI (2022) Anforderungen an mobile Luftreiniger. Online abrufbar unter: <https://www.vdi.de/news/detail/anforderungen-an-mobile-luftreiniger> [03.02.2022]