

# Dezentrale Raumlufte-Filteranlagen – zu laut für den Unterricht!

Carsten Ruhe

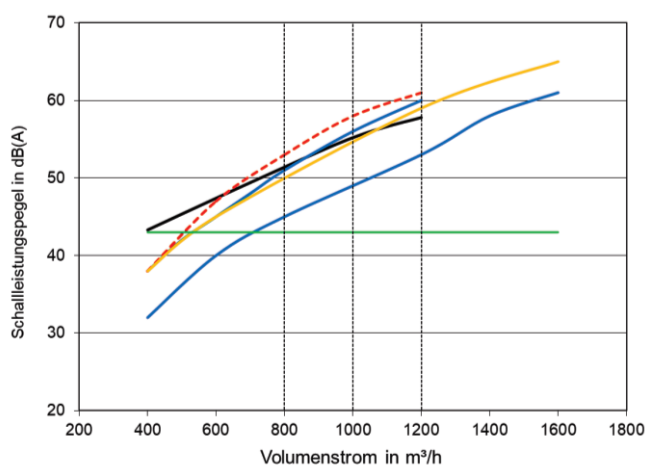
hörgerecht planen und bauen, 25497 Prisdorf, E-Mail [carsten.ruhe@ hoeren-und-bauen.de](mailto:carsten.ruhe@ hoeren-und-bauen.de)

## Wie es losging

Im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie kamen findige Hersteller auf die Idee, Umluft-Geräte mit HEPA-Filtern auszustatten und diese zur Aufstellung in Klassenräumen anzubieten. Zwei Hersteller haben ihre Anlagen testen lassen. Ergebnis war, dass bei einem sechsfachen Luftwechsel innerhalb von 30 Minuten 99,9 % der Viren herausgefiltert werden. Bei dem typischen Klassenraum-Volumen von 200 m<sup>3</sup> sind also 1200 m<sup>3</sup>/h oder 0,33 m<sup>3</sup>/s (entsprechend dem Luftinhalt von zwei Badewannen) notwendig. Wenn diese Geräte im Soll-Betriebszustand laufen, beklagen sich Lehrer und Schüler über die zu lauten Geräusche mit der Folge, dass für einen sachgerechten Unterricht die geförderte Luftmenge deutlich reduziert wird.

## Hersteller-Angaben

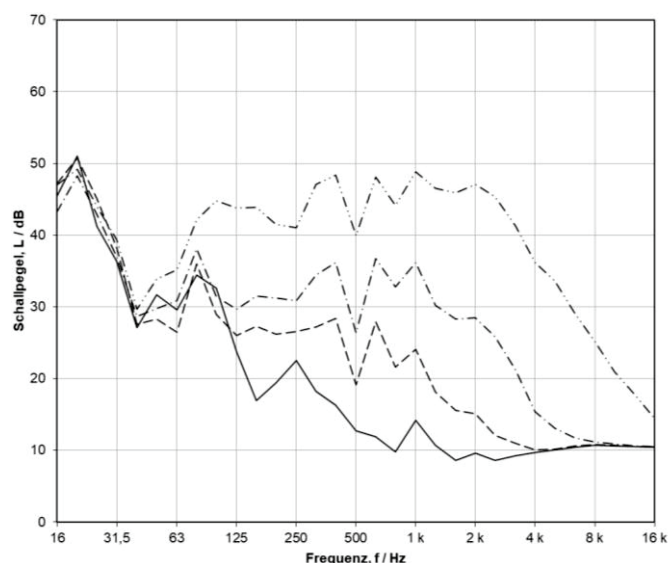
Aus einigen wenigen erhältlichen Messberichten über die Messung von Schallleistungspegeln sind die Messwerte in der Abbildung 1 in Abhängigkeit vom Volumenstrom dargestellt. Die beiden blauen Linien kennzeichnen die Messwerte an Geräten zweier verschiedener Größen desselben Herstellers. Das größere Gerät ist bei gleichem Volumenstrom 7 dB leiser.



**Abbildung 1:** Herstellerangaben der Schallleistungspegel in Abhängigkeit vom geförderten Luftvolumenstrom, grüne Linie: maximal zulässiger Schallleistungspegel in Klassen

## Schallpegel-Messungen

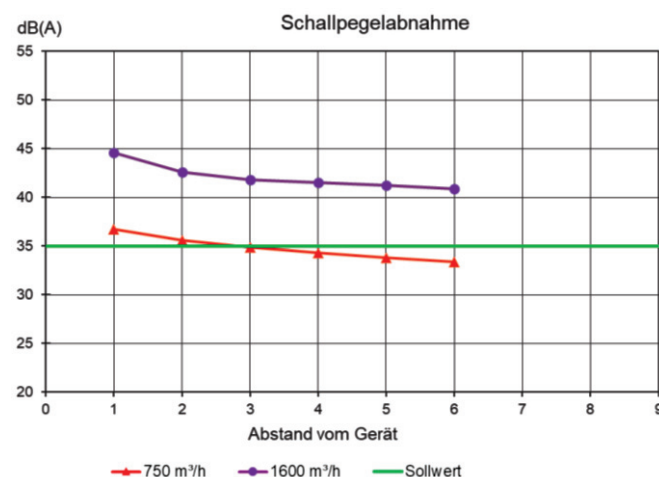
Die Klassenräume der Schallmessungen hatten durchgängig ein Volumen von etwa 200 m<sup>3</sup>. In 1,0 m Abstand von der Gerätevorderseite wurden die Schallpegel in 1,2 m Höhe (entspricht der Ohrhöhe sitzender Personen) gemessen. Soweit möglich erfolgten die Messungen auch bei verschiedenen Luftvolumenströmen. Abbildung 2 zeigt die Werte eines Gerätes mit drei Schaltstufen und starkem hochfrequentem Rauschen durch ungünstige Luftführung.



**Abbildung 2:** 1-m-Schallpegel eines Gerätes mit drei Schaltstufen, Zischgeräusche an scharfen Kanten

## Schallpegel-Abnahme im Raum

Die Schallpegel-Abnahme innerhalb des Klassenraumes im Verhältnis zu den Werten in 1 m Abstand ist von Interesse, um die Geräusch-Einwirkungen an verschiedenen Sitzplätzen errechnen zu können. Dazu wurden in gegenseitigen Abständen von jeweils 1,0 m die Schallpegel gemessen. Für einen guten Signal-Rausch-Abstand erfolgten die Messungen grundsätzlich bei der höchsten Fördermenge.



**Abbildung 3:** Schallpegelabnahme im Klassenraum, maximale und gedrosselte Leistung

Die Schallpegelabnahme im Klassenraum gegenüber 1 m Abstand hinten vor dem Gerät (also an den Schüler-Sitzplätzen) bis hin zu 6 m Abstand vorne vor der Tafel (beim Lehrer-Standort) ist nur gering. Hier liegt eine „Hallfeld-Situation“ vor. In Abbildung 3 sind die Schallpegel in

Abhängigkeit des Abstandes vom Gerät dargestellt. Der Schallpegel nimmt nur um etwa 3,5 dB ab. Die grüne horizontale Linie zeigt den Sollwert von max. 35 dB(A).

Etliche Hersteller geben eine Schallpegelminderung an, die sich an der Situation im akustischen Freifeld (Abbildung 4, graue Kurve) orientiert. Danach soll der Schallpegel bis 10 m Abstand um 20 dB abnehmen. In typischen Klassenräumen liegt die maximale Mess-Entfernung bei etwa 6 oder 7 m, in großen Räumen auch mal 8 m (und je nach Position des Gerätes im Raum auch weniger). 10 m werden 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.

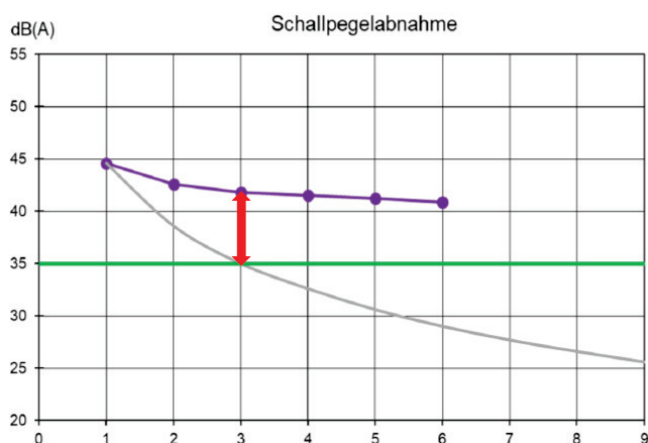


Abbildung 4: Schalldruckpegel im Klassenraum und Freifeld-Berechnung nach Hersteller-Angabe

Mit der Darstellung nach der unteren grauen Kurve wird den Käufern der Geräte vorgegaukelt, auch bei voller Leistung sei ab etwa 3 m Abstand von der Raumluft-Filteranlage „die Welt wieder in Ordnung“. Tatsächlich ist das hier betrachtete Gerät dort aber noch um 7 dB zu laut. Auch sitzen die Schüler 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.

## Nachhallzeit-Messungen

In den Messräumen erfolgten auch jeweils Nachhallzeit-Messungen. Im Raum für das hier vorgestellte Gerät beträgt die gemittelte Nachhallzeit  $T_m = 0,65$  s. Bei einem Raumvolumen von  $V = 200$  m<sup>3</sup> beträgt die vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche etwas mehr als  $A = 50$  m<sup>2</sup> und der Hallradius knapp  $r_H = 1$  m.

## Schalleistungspegel / Schalldruckpegel

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

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

Der erste Term in der Klammer beschreibt die durch den Abstand  $r$  bewirkte Pegelminderung, der zweite die durch die Schallabsorption  $A$ . Im Freifeld ist  $A$  „etwa 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 wirksam ist. Dann befindet man sich außerhalb des Hallradius, was das extrem unterschiedlichen Verhalten im Freifeld und im Raum begründet.

## Sprachverständlichkeit

In Bezug auf den Unterrichts-Erfolg ist die Veränderung der Sprachverständlichkeit unter Einwirkung der dauerhaften Störgeräusche besonders interessant. Deshalb wurde bei zwei Betriebsstufen der Sprachübertragungsindex STI ohne und mit Störgeräuschen in der Ausbreitungsrichtung vom Lehrerstand mittig vor der Tafel nach hinten in der Nähe der Raumluft-Filteranlage gemessen. Um in verschiedenen Schulen und verschiedenen Klassenräumen vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, erfolgten die Messungen jeweils auf geraden Ausbreitungslinien, nicht an den Sitzplätzen.

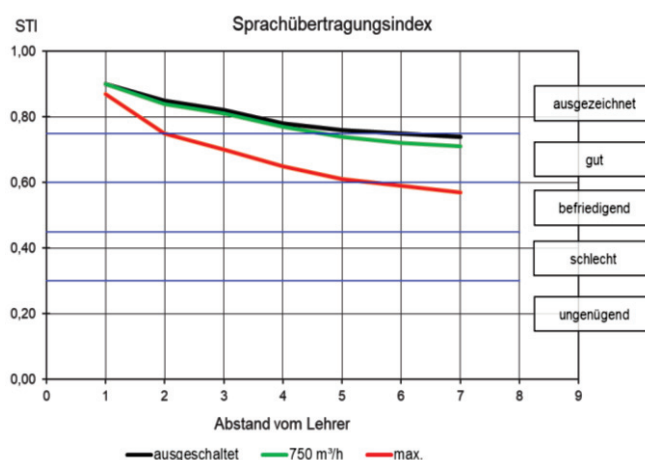
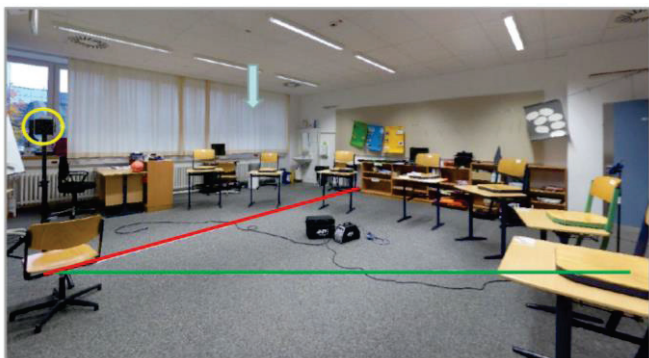


Abbildung 5: Sprachübertragungsindex im Klassenraum ohne und mit zwei Leistungsstufen der Raumluft-Filteranlage.

Ohne Geräusche der Raumluft-Filteranlage ist der STI nach Abbildung 5 auch über große Entfernungen sehr gut und sinkt auch bei 7 m Abstand nur knapp unter  $STI = 0,75$  ab. Bei der (gedrosselten) Betriebsstufe mit 750 m<sup>3</sup>/h mit nur etwa 35 dB(A) wirkt sich die Raumluft-Filteranlage erst in den großen Abständen vom Lehrer-Standort aus. Dort ist der Sprachpegel des Lehrers am geringsten und die Luftfilteranlage am lautesten.  $STI = 0,75$  wird ab etwa 4,5 m unterschritten. Daraus ergibt sich der interessante Hinweis, dass die Vorgabe von maximal 35 dB(A) in den verschiedenen Regelwerken offenbar sachgerecht ist.

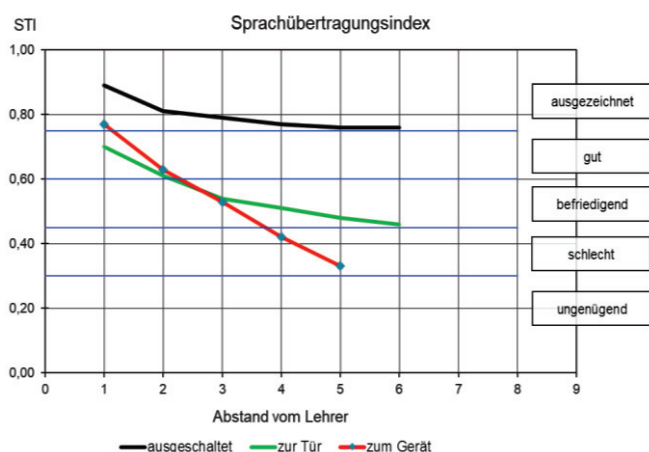
Bei Schallpegeln zwischen 41 dB(A) vorne in Lehrer-Nähe und 44 dB(A) hinten in der Nähe des Gerätes wird die Situation deutlich schlechter. Bereits in 1 m Abstand ist die Veränderung von 0,90 auf 0,87 nachweisbar, welche mit zunehmendem Abstand vom Lehrer aber geringerem vom Lüftungsgerät deutlich anwächst. In 7 m Abstand wird statt  $STI = 0,74$  nur noch 0,57 erreicht. Insbesondere beim Fremdsprachen-Unterricht, sowie für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache oder mit Hörschädigung sind solche Störgeräusche und damit verbundenen Verschlechterungen der Sprachverständlichkeit nicht akzeptabel und gefährden erheblich den Unterrichts-Erfolg! Dabei ist die hohe Betriebsstufe dieses Gerätes noch nicht einmal ausreichend, die geforderte sechsfache Luftumwälzung sicherzustellen.

In einer anderen Schule stehen mehrere kleine Raumlufilteranlagen mit maximalen Volumenströmen von jeweils 600 m<sup>3</sup>/h im Raum verteilt. Dadurch befinden sie sich näher an den Schüler-Plätzen und wirken sich noch stärker auf die Sprachverständlichkeit aus.



**Abbildung 6:** STI-Messung auf zwei Messpfaden in Richtung zur Raumlufilteranlage und davon abgewandt; der Messlautsprecher strahlt zur Klassenraum-Rückwand

Ohne die Filteranlage ist der STI auch hier hervorragend und sinkt bis hinten nicht unter 0,75 ab. Das ist bei der ausgesprochen kurzen Nachhallzeit in dieser Förderschule für Kinder mit Hörschädigung ( $T_m = 0,39$  s,  $A = 73$  m<sup>2</sup>) auch nicht anders zu erwarten.



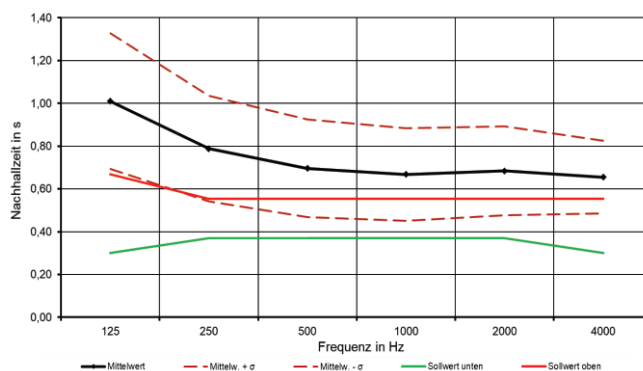
**Abbildung 7:** STI-Messung in zwei Richtungen ohne und mit Raumlufilteranlage

Deutlich schlechter ist die Situation aber mit den Geräuschen der Raumlufilteranlagen. 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 Mess-Situation 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 Guthörende 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 Raumlufilteranlage, der grün markierte schräg davon weg zur Tür. Der Messlautsprecher strahlte geradeaus von der Tafel nach hinten.

Dieses Gerät hat am Ausblasgitter scharfe Kanten, an denen die Zisch-Geräusche entstehen, siehe Abbildung 2. Deshalb ist die STI-Verschlechterung hier besonders groß.

## Vorgaben zur Geräte-Ausschreibung

Wenn der in verschiedenen Regelwerken einheitlich genannte und hier auch durch die STI-Messungen belegte Grenzwert für die maximal zulässigen Störgeräusche im Unterricht mit einem Schalldruckpegel von  $L_p = 35$  dB(A) einzuhalten ist, so muss man den Herstellern der Raumlufilteranlagen Vorgaben machen, welchen Schalleistungspegel  $L_w$  sie für die Soll-Betriebsstufe von (neuerdings) nur etwa 800 m<sup>3</sup>/h (bzw. nach alter Lesart) 1200 m<sup>3</sup>/h nachzuweisen haben. Für die Umrechnung auf einen Schalldruckpegel  $L_p$  „etwa in Raummitte“ sind das Volumen  $V$  und die Nachhallzeit  $T$  des jeweiligen Klassenraumes die maßgeblichen Kenngrößen. Um nicht in jedem Fall neu rechnen zu müssen, wird im Folgenden eine Abschätzung versucht. Dazu wurden die Nachhallzeiten und Volumina von etwa 160 in den letzten drei Jahren gemessenen Klassenräumen statistisch ausgewertet.



**Abbildung 8:** Mittlere Nachhallzeiten und Standardabweichungen von 160 Klassenräumen, Toleranzbereich nach DIN 18041, Raumgruppe A4 :  $T_m = 0,7$  s,  $V_m 205$  m<sup>3</sup>

Der erschreckend große Abstand zahlreicher Messwerte von der oberen Toleranzbereichsgrenze der Norm-Vorgabe soll hier nicht diskutiert werden. Er zeigt aber durchaus auch Möglichkeiten auf, durch raumakustische Maßnahmen zur Lärminderung in Klassenräumen beizutragen. Diese Vorgehensweise zur Lärminderung in Schulen wird nach wie vor viel zu wenig genutzt!

Wenn man – mit lediglich „ingenieurmäßiger Genauigkeit“ – über alle sechs Oktaven mittelt, errechnet sich eine mittlere Nachhallzeit von  $T_m = 0,76$  s ( $\pm 0,23$ s). Das mittlere Volumen ergab sich zu  $V_m = 205$  m<sup>3</sup> ( $\pm 26$  m<sup>3</sup>). Die mittlere äquivalente Schallabsorptionsfläche liegt demnach bei etwa  $A_m = 43$  m<sup>2</sup>. Damit beträgt die Differenz etwa  $L_w - L_p = 10$  dB. Man könnte also zunächst Schalleistungspegel bis  $L_w = 45$  dB(A) zulassen. Weiterhin sind aber mehrere Dinge zu beachten wie folgt:

- Nicht alle Schüler sitzen in Raummitte oder weiter entfernt. Nach den Beobachtungen bei den Messungen sind Abstände von 1 m häufig und werden bisweilen sogar noch unterschritten. Nach der gemessenen Schallpegelabnahme benötigt man mindestens ein Vorhaltemaß von 2 dB.

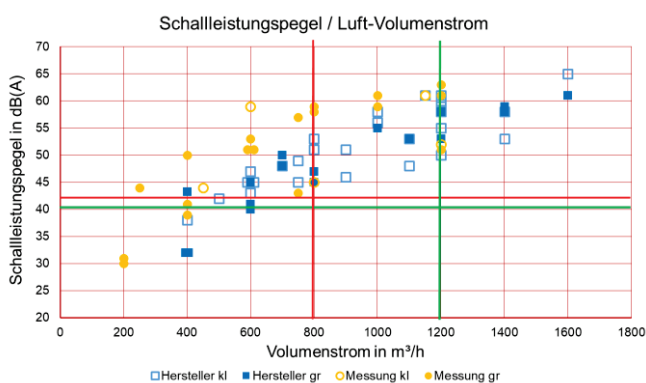
- Bisher wurde nur mit Mittelwerten gerechnet. Die Hälfte aller Klassenräume hat damit aber eine (teilweise deutlich) ungünstigere Situation. Geht man zur Sicherheit von  $(205 - 26) \text{ m}^3$  und  $(0,76 + 0,23) \text{ s au}$ , so erhält man  $A = 29 \text{ m}^2$  und damit nur knapp  $L_W - L_p = 9 \text{ dB}$ .
- Die Berechnung gilt für die Aufstellung auf einer Ebene. Bei Aufstellung vor einer Wand ( $Q = 4$ ) ist das Gerät im Nahbereich rechnerisch um 3 dB lauter, bei Aufstellung in einer Ecke ( $Q = 8$ ) sogar um 6 dB. In der Realität wurden Anhebungen bis 4 dB beobachtet. Sogar Schränke neben den Geräten wirkten sich mit Pegelanhebungen aus.

Deshalb darf man – wenn man die meisten vorkommenden Fälle berücksichtigen will – für die Soll-Betriebsstufe (4-fach oder 6-fach?) einen maximalen Schallleistungspegel der Raumlufilteranlagen von  $L_W \approx 40 \text{ dB(A)}$  zulassen. Ein Wert von  $L_W = 42 \text{ dB(A)}$  wäre dann schon zu hoch..

## Was ist möglich?

Bisher liegen nur wenige offizielle Labor-Prüfzeugnisse aus der Industrie vor. Die meisten Hersteller geben aber nur Schalldruckpegel in 1 m Abstand an, jedoch ohne Angabe von Messbedingungen. Unter Ansatz der in der Lüftungsplanung üblichen Annahme der „Raumdämpfung“  $L_p = L_W - 8 \text{ dB}$  wurden die dortigen Schallleistungspegel „geschätzt“.

Eine weitere Unsicherheit besteht in den Angaben zum geförderten Volumenstrom. In Relation zu den Schallpegeln erscheinen EINIGE Katalogangaben „vollmundig“. Mangels der Möglichkeit, die Volumenströme vor Ort selbst zu messen, muss diesen Werten geglaubt werden. Die nach den Herstellerangaben und die aus den eigenen Messungen ermittelten Schallleistungspegel sind, getrennt nach „großen und kleinen“ Geräten (höher oder niedriger als 1 m) in Abbildung 9 den Volumenstrom-Angaben gegenübergestellt.



**Abbildung 9:** Schallleistungspegel großer und kleiner Geräte in Abhängigkeit vom geförderten Volumenstrom, Hersteller-Angaben und eigene Messwerte  
Grenzwert-Linien für  $L_W = 42 \text{ dB(A)}$  und  $40 \text{ dB(A)}$

Möglicherweise würden die Werte bei „echten“ Angaben und genauer Kenntnis der jeweiligen Messbedingungen näher zusammenrücken. Bereits jetzt ist aber erkennbar, dass es schwer werden wird, ein Gerät zu finden, welches selbst bei dem jetzt reduzierten Volumenstrom von nur  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  einen Schallleistungspegel  $L_W = 40 \text{ dB(A)}$  oder auch nur  $42 \text{ dB(A)}$  einhalten kann. Bei den ursprünglichen  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$  können auch die namhaften Hersteller von Lüftungsanlagen weder die eine noch die andere Anforderung erfüllen.

## Zusammenfassung und Ausblick

Raumlufilteranlagen fördern bei Drosselung auf vertretbare Schallpegel an den Schülerplätzen nicht den Luftvolumenstrom von  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$ , welcher in  $200 \text{ m}^3$  großen Klassenräumen für einen sechsfachen Luftwechsel erforderlich wäre. Unterhalb von etwa  $700 \text{ m}^3/\text{h}$  kann unter günstigen räumlichen Situationen und gerätetechnischen Bedingungen ab etwa 3 m Abstand von den Anlagen der für einen sachgerechten Unterricht maximal zulässige bauseitige Störgeräuschpegel von  $L_{NA,Bau} = 35 \text{ dB(A)}$  eben eingehalten werden. Dann bleibt die STI-Verschlechterung gering und akzeptabel.

Die größeren Bauformen der Geräte (mit langsamer laufenden Lüfter-Schaufeln und Platz für Schalldämpfer) sind akustisch günstiger als kleine derselben Baureihe. Auch die Gestaltung der Luftauslass-Gitter wirkt sich aus.

Bei der Soll-Luftmenge von (etwa)  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$  betragen die Störgeräuschpegel (teilweise deutlich) über  $45 \text{ dB(A)}$ . Dann verschlechtert sich der STI in nicht mehr akzeptabler Weise. Dadurch ist insbesondere beim Fremdsprachen-Unterricht, sowie für Kinder mit Deutsch als Zweitsprache oder mit Hörschädigung der Unterrichtserfolg erheblich gefährdet.

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

Die Filteranlagen können weder überschüssiges  $\text{CO}_2$  noch ausgeatmeten Wasserdampf aus der Raumlufilter 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 Luft-Durchspülung des gesamten Raumes.

Würde man die ca. 1,3 Mrd. €, welche Bund und Länder für die Beschaffung der Filteranlagen bereitstellen, für – weit nachhaltigere – raumakustische Verbesserungen verwenden (und den etwa gleich hohen Anteil der Schulen ebenfalls), dann könnte man damit die Raumakustik von gut 400.000 Klassenräumen sanieren.

Als kurzfristig hilfreich (und deutlich kostengünstiger als die Raumlufilteranlagen) können sich empfindlich eingestellte  $\text{CO}_2$ -Ampeln erweisen, welche an das erforderliche Stoßlüften erinnern.

## Literatur

Ruhe, C.: Dezentrale Luftfilteranlagen – zu laut für den Unterricht. HörPäd Heft 1 (2022), 45-57

Ruhe, C.: Was leisten dezentrale Raumlufilteranlagen wirklich? <https://www.carsten-ruhe.de/start/aktuelles/>