

Zur Akustik von Luftreinigungsgeräten

Karlheinz Bay, Jens Rohlfing

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart

E-Mail: karlheinz.bay@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Luftreinigungsgeräte finden sich seit der Corona-Krise in vielen Klassen-, Büro- und Wohnräumen. Sie leisten einen wesentlichen Beitrag zur Bekämpfung der Pandemie. Trotz kompakter Bauweise müssen diese Geräte eine hohe Luftleistung im Dauerbetrieb erbringen und dürfen z. B. während des Unterrichts bzw. der Arbeitszeit nicht ausgeschaltet werden. Daraus ergeben sich Herausforderungen in Bezug auf die akustischen Emissionen dieser Geräte. Am Fraunhofer IBP wurden hierzu im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte Recherchen zu Anforderungen, Marktanalysen sowie Reihenmessungen zur Akustik von Luftreinigungsgeräten durchgeführt. Außerdem wurden im Fraunhofer-Forschungsprojekt »ReinluftAkustik« Voruntersuchungen zur akustischen Charakterisierung und Optimierung von Luftreinigungsgeräten durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Bestandsaufnahme normativer Verweise, Empfehlungen sowie Förderrichtlinien zusammengefasst und akustischen Gerätekennwerten gegenübergestellt. Die entscheidende Kenngröße für die Akustik ist dabei die volumenstrombezogene Schallleistung der Geräte. Diese ermöglicht in Verbindung mit den raumakustischen Eigenschaften am Aufstellungsort eine Prognose der resultierenden Schalldruckpegel im Raum. Am Beispiel der Anwendung in einem typischen Klassenraum wird die Problematik der gleichzeitigen Einhaltung von hygienischen und akustischen Anforderungen diskutiert. Abschließend erfolgt eine akustische Betrachtung der Schallquellen und Schallübertragungswege von Luftreinigungsgeräten. Darauf aufbauend werden mögliche hybride aktive/passive Schallschutzkonzepte vorgestellt und diskutiert.

Wie laut dürfen Luftreinigungsgeräte sein?

Welche Empfehlung und Regelwerke liegen dazu vor? Erste Recherchen zur Anforderungen an die Geräteschalleistung deuten darauf hin, dass im europäischen Raum keine gesetzlichen Grenzwerte, weder für das Inverkehrbringen noch das Betreiben mobiler Luftreinigungsgeräte, vorliegen. Allerdings findet sich in der nationalen chinesischen Norm für Luftreinigungsgeräte GB/T 18801 [1] Vorgaben maximaler Schallleistungspegel in Abhängigkeit der geförderten Reinlufrate, also der von Keimen gereinigten Luft CADR.

Folgt man Empfehlungen wie z. B. der VDI 2081 [2] so darf durch den Betrieb festinstallierter raumluftechnischer Anlagen, z. B. in einem Klassenraum ein Hintergrundgeräusch von 35 dB(A) nicht überschritten werden. Gleiche Angaben von Schalldruckpegeln finden sich in VDI 2569 [3] zum Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro (Klasse B), in den techn. Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7 [4] sowie in der Expertenempfehlung für Luftreinigungsgeräte,

die VDI-EE-4300 [5] vom September 2021. Letztere verweist darauf, dass mindestens eine Gerätstufe einen Schalldruckpegel von ≤ 35 dB(A) im Raum aufweisen muss, wobei separat eine Reinlufrate des stündlichen vierfachen Raumvolumens gefordert wird.

Vergleicht man dazu die Anforderungen der jeweiligen Landesvorgaben zur Förderung mobiler Luftreinigungsgeräte für Klassenräume, so findet sich auch dort fast immer ein maximal zulässiger Schalldruckpegel von 35 dB(A) im Klassenraum bei einer geforderten Reinlufrate des meist vierfachen in Ausnahmen fünffachen Raumvolumens für Bayern und Baden-Württemberg.

Wie laut sind Luftreinigungsgeräte?

In allen Empfehlungen und Regelwerken sowie den Förderrichtlinien von Luftreinigungsgeräten findet sich stets der Verweis auf den maximal zulässigen Schalldruckpegel im Raum. Eine eindeutige, raumunabhängige Charakterisierung einer Schallquelle kann allerdings nur durch die Schallleistung L_w erfolgen, denn der daraus resultierende Schalldruckpegel im Raum ist abhängig vom Abstand zur Schallquelle, dem Raumvolumen und der Raumausstattung welche durch die Nachhallzeit T gekennzeichnet ist.

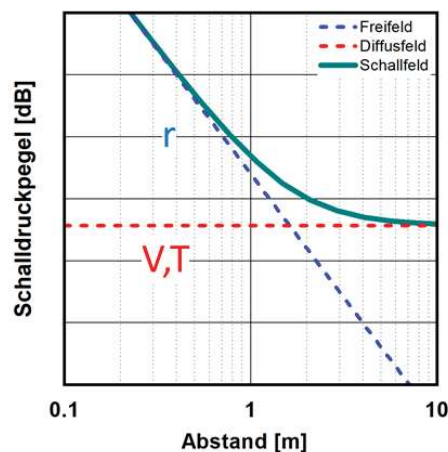


Abbildung 1: Beispiel für die Abhängigkeit des Schalldruckpegels vom Abstand r zur Schallquelle sowie der Raumumgebung gekennzeichnet durch das Raumvolumen V und die Nachhallzeit T .

Nach Abbildung 1 folgt eine vereinfachte Abschätzung des resultierenden Schalldruckpegels im Raum, unter Berücksichtigung des vom Abstand r abhängigen Schalldruckpegels (blaue Kurve)

$$L_{p,r} = L_w - 10 \log(2 \pi r^2) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

der Schallquelle unter Freifeldbedingung bei raummittiger Positionierung sowie dem vom Raumvolumen V und der Nachhallzeit T abhängigen Schalldruckpegel

$$L_{p,diff} = L_w - 10 \log\left(0,163 \frac{V}{T}\right) + 6 \text{ dB} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

für das Diffusfeld im Raum (rote Kurve). Die energetische Addition der Schalldruckpegel (grüne Kurve), kann dann in die Form

$$L_p = L_w + kor(V, T, r) \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

überführt werden. Die Abschätzung des Schalldruckpegels im Raum aus der Schalleistung nach Gleichung (3) erfolgt dann über eine raum- und abstandsabhängige Umrechnungskorrektur. Diese Korrektur wurden für einen Vergleich messtechnisch ermittelt. Dazu wurden für unterschiedliche Luftreinigungsgeräte die resultierenden Schalldruckpegel in einem Seminarraum, mit einem Raumvolumen 259 m³ und einer Nachhallzeit 0.8 s, in Abständen von 1 m, 2 m, 4 m und 6 m zum Luftreinigungsgerät gemessen und bei bekannter Geräteschalleistung die Korrekturwerte bestimmt. In Abbildung 2 sind die messtechnisch ermittelten und rechnerisch abgeschätzten Werte zum Vergleich aufgetragen.

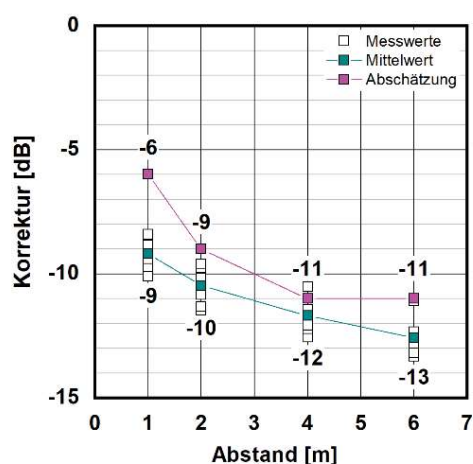


Abbildung 2: In einem Seminarraum für die raummittige Aufstellung von Luftreinigungsgeräten messtechnisch ermittelte Umrechnungskorrekturen (grün) sowie die Abschätzung (pink).

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, liegen bei dieser Untersuchung fast alle Messwerte der Umrechnungskorrektur unterhalb dieser Abschätzung, so dass diese eine obere Grenzdarstellung. Wendet man diesen Ansatz auf einen durchschnittlichen Klassenraum an, so lässt sich bei der erforderlichen Reinlufrate die Schalleistung des Luftreinigungsgerätes abschätzen, welche den zulässigen Schalldruckpegel im Klassenraum gerade noch erfüllt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiel Luftreiniger in einem Klassenraum

Klassenraum		
Raumvolumen	200 m ³	Korrektur
Nachhallzeit	0.5 s	10 dB
Abstand	2 m	
Anforderung		
Reinlufrate	vierfach	
max. Schalldruckpegel	35 dB(A)	
Luftreiniger		
Reinlufrate	800 m ³ /h	
max. Schalleistungspegel	35+10 = 45 dB(A)	

Für eine genauere Prognose der resultierenden Schalldruckpegel im Raum sei auf diesen DAGA 2022 Beitrag [6] verwiesen. Wie der Abschätzung für den Klassenraum in Tabelle 1 zu entnehmen ist, darf das Luftreinigungsgerät bei einer Reinlufrate von 800 m³/h eine Schalleistung von 45 dB(A) nicht überschreiten. Dieses Anforderungsprofil an die Schalleistung und dem Volumenstrom (ersatzweise für die Reinlufrate) ist in Abbildung 3 als grüne Fläche gekennzeichnet. Weiterhin sind dort für unterschiedliche Luftreinigungsgeräte die A-bewerten Schalleistungspegel in Abhängigkeit des Volumenstroms aufgetragen. Diese Kennwerte wurden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, aus einer Internetrecherche und eigenen Messungen zusammengetragen. Wie ersichtlich, liegt keines dieser Geräte innerhalb des Anforderungsprofils. Erweitert man dieses auf zwei Geräte, mit einem Volumenstrom von je 400 m³/h und einem Schalleistungspegel von je 42 dB(A), so befinden sich einige Luftreinigungsgeräte innerhalb dieses Anforderungsprofils (blau), deren Anzahl lässt sich durch den Einsatz von drei Luftreinigungsgeräten (orange) noch erhöhen.

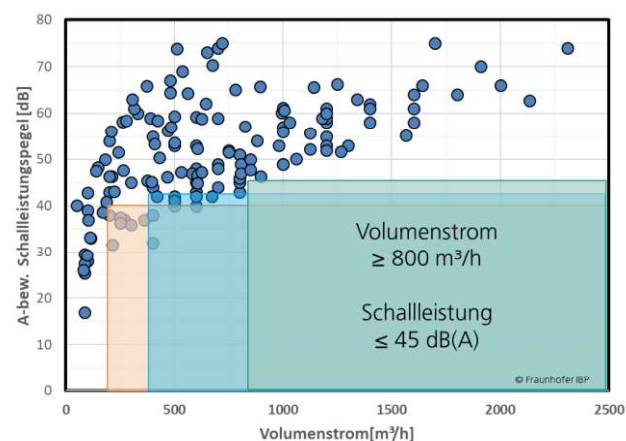


Abbildung 3: Recherchierte und gemessene A-bew. Schalleistungspegel von Luftreinigungsgeräten in Abhängigkeit des Volumenstroms. Parameter: Flächen von Anforderungsprofilen für ein Einzelgerät (grün), zwei Geräte (blau) und drei Luftreinigungsgeräten (orange) im Klassenraum.

In Verbindung mit der Reinlufrate stelle die Schalleistung die zentrale Größe zur akustischen Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten dar. Dies zeigt auch die Ableitung aus normativen Verweisen. Ausgehend von DIN EN 63086 für elektrische Luftreiniger für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke [7] findet sich unter dem Abschnitt Geräuschemissionen, dass diese nach der Normenreihe IEC 60704 [8] zu ermitteln sind, die ihrerseits wiederum auf Messungen zur Bestimmung der Schalleistung die nach dem Hallraum- [9] oder Hüllflächenverfahren [10], jeweils der Genauigkeitsklasse 2 durchzuführen sind. Ein oft in den technischen Angaben zu Luftreinigungsgeräten verwendeter A-bewerteter Schalldruckpegel in einem Abstand von 1 m ist für eine akustische Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten nicht ausreichend, da mit diesem die Raumwirkung nicht berücksichtigt wird. Für eine vollständige Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten bei unterschiedlichen Betriebszuständen wird auch der jeweilige Luftdurchsatz der Geräte (ersatzweise für die tatsächliche Reinlufrate) benötigt, welcher ebenfalls messtechnisch erfasst werden muss.

Viele der Luftreinigungsgeräte weisen Ansaug- und Ausblasöffnungen auf, die den Lüftungsgittern von RLT-Anlagen sehr ähnlich sind. Bei der Ermittlung des Volumenstroms kann daher auf Messverfahren für Lüftungsöffnungen raumlufttechnischer Anlagen nach [11] zurückgegriffen werden, z. B. die Messung mit einer Strömungshaube. Ein weiteres Verfahren besteht in der Anlehnung an die Leistungsmessung von Ventilatoren auf genormten Prüfständen [12]. Bei diesem muss allerdings das komplette Luftreinigungsgerät in den Prüfstand passend eingebaut werden.

Maßnahmen zur Geräuschkürzung

Wie ausgeführt, bedarf es je nach Einsatzbereich der Luftreinigungsgeräte ggf. zusätzlicher Maßnahmen zur Geräuschkürzung. Im Projekt »ReinluftAkustik« wurden dazu unterschiedlichste Ansätze verfolgt (siehe hierzu auch den DAGA 2022 Beitrag [13]). Im hier vorliegenden Beitrag werden nachfolgend generische Möglichkeiten zur Reduzierung der Schalleistung an den Ansaug- und Ausblasöffnungen von Luftreinigungsgeräten durch den Einsatz poröser Absorber und Aktiv-Resonatorschalldämpfern dargestellt und diskutiert.

Ausgangspunkt bildet zunächst ein so genanntes „inaktivierendes“ UV-C Luftreinigungsgerät das in Abbildung 4 skizziert ist. Diese Geräte bestehen im Wesentlichen aus einem Ventilator, der die Luft über eine Sterilisationsstrecke bläst, die mit UV-C Lampen bestückt ist. Die Schalleistung des Ventilators wird dabei ungedämpft über die Ansaug- und Ausblasöffnung abgestrahlt.

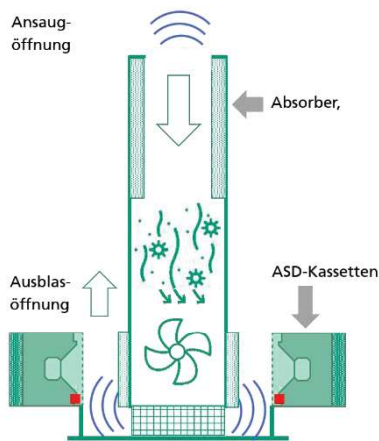


Abbildung 4: Skizze eines inaktivierenden Luftreinigungsgerätes mit geräuschkürzenden Maßnahmen:
 Ansaugöffnung: poröser Absorber bzw. Mikroperforation.
 Ausblasöffnung: Umlaufender Aufbau bestehend aus drei Aktiv-Resonatorschalldämpfern.

Zur Bedämpfung der Lüftungsöffnungen wurden unterschiedliche Lösungsansätze verfolgt: Beispielhaft dafür wurde das Gehäuse saugseitig mit porösem Absorber ausgekleidet und die Ausblasöffnung mit einem umlaufenden Aufbau mit drei Aktiv-Resonatorschalldämpfern bestückt. In der Entwicklungsphase wurde die Wirkung der einzelnen Dämpfungsmaßnahmen separat ermittelt und bewertet. Dazu wurde die resultierende Pegelminderung in unmittelbarer Umgebung der Ansaug- und Ausblasöffnung über 3 Mikrofone gemittelt gemessen und verglichen.

In Abbildung 5 sind beispielhaft die im Hallraum bei maximalem Volumenstrom ermittelten A-bewerteten Schalleistungspegel für das inaktivierende Luftreinigungsgerät im Ausgangszustand ohne Maßnahmen und mit saugseitigen Einbau eines 20 mm dicken porösen Absorbers mit einer Länge von 900 mm sowie ausblasseitigen Aktiv-Resonatorschalldämpfern dargestellt (vgl. Aufbau in Abb. 4). Mit diesem Lösungsansatz konnte eine Reduzierung des A-bewerteten Schalleistungspegels von 7 dB(A) erzielt werden.

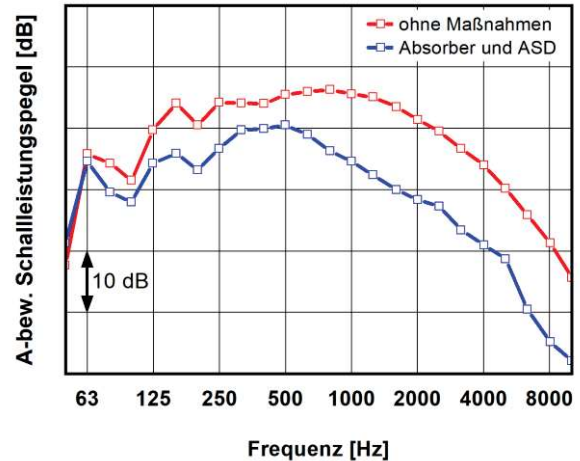


Abbildung 5: Im Hallraum ermittelte Schalleistungspegel in Abhängigkeit der Frequenz des inaktivierenden Luftreinigungsgerätes ohne Maßnahme (rot) und dem Lösungsansatz mit saugseitigem Absorber und ausblasseitigen Aktiven-Resonatorschalldämpfern.

In einem weiteren Ansatz wurde die Möglichkeit zur Geräuschkürzung eines filterbasierten Gerätes durch eine Add-On Lösung untersucht. Das in Abbildung 6 skizzierte Luftreinigungsgerät besteht im Wesentlichen aus einem Ventilator, der den Luftstrom durch einen sogenannten Hepa-Filter bläst.

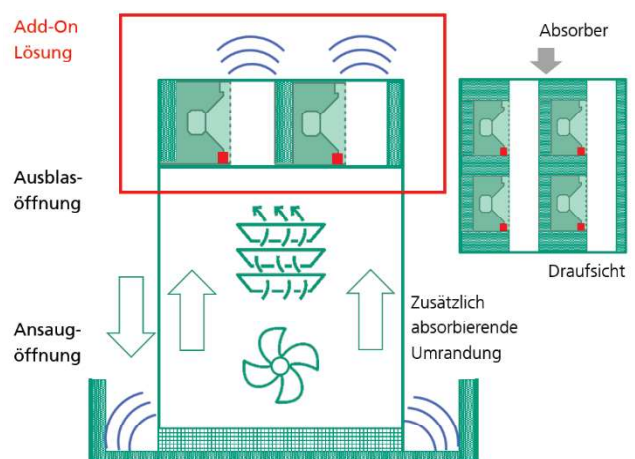


Abbildung 6: Skizze eines filterbasierten Luftreinigungsgerätes mit geräuschkürzenden Maßnahmen.
 Ausblasöffnung: Zusätzlicher Aufsatz mit porösem Absorber oder Aktiv-Resonatorschalldämpfern.
 Ansaugöffnung: Zusätzliche Umrandung mit porösem Absorber zur Bedämpfung der saugseitigen Schalleistung.

Als Add-On Lösung wurde ein Aufsatz mit vier aktiven Resonator-Kassetten erstellt. Diese wurden zusammen mit porösem Absorber in den Aufsatz eingebaut. Damit die Wirkung dieser Add-On Lösung bei Schalleistungsmessungen im Hallraum ermittelt werden kann, wurde die saugseitige Schalleistung durch eine absorbierende Umrandung reduziert. In Abbildung 7 sind die ermittelten A-bewerteten Schalleistungspegel über der Frequenz für das Luftreinigungsgerät im Ausgangszustand ohne Maßnahmen und dem, in Abb. 6 skizzierten, Aufbau mit Add-On Aufsatz und absorbierender Umrandung dargestellt. Mit der Add-On Lösung und saugseitiger Umrandung konnte der A-bewertete Schalleistungspegel um 8 dB(A) reduziert werden.

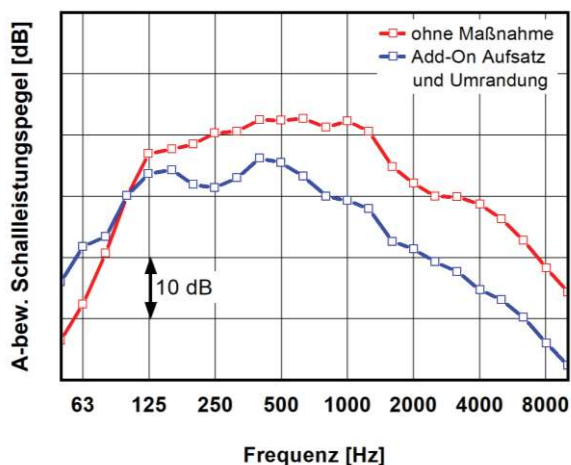


Abbildung 7: Im Hallraum ermittelte Schalleistungspegel des Luftreinigungsgerätes in Abhängigkeit der Frequenz ohne Maßnahme (rot) und dem Aufsatz mit ausblasseitigen Aktiv-Resonatorschalldämpfern und zusätzlicher saugseitiger Umrandung (blau).

Zusammenfassung

Beim Betrieb mobiler Luftreinigungsgeräte ist in Klassenräumen bei einer geforderten stündlichen Reinlufrate des vierfachen Raumvolumens ein Schalldruckpegel von 35 dB(A) nicht zu überschreiten. Durch den Einsatz mehrerer Luftreinigungsgeräte (bei entsprechend geringerer Betriebsstufe und Luftdurchsatz je Gerät) kann ggf. der resultierende Schalldruckpegel im Raum reduziert werden.

Zur akustischen Charakterisierung von Luftreinigungsgeräten ist der Schalleistungspegel anzugeben. Nur dieser kennzeichnet eine Schallquelle eindeutig und ermöglicht eine rechnerische Prognose der resultierenden Schalldruckpegel im Aufstellungsraum.

In Untersuchungen zu generischen Maßnahmen zur Geräuschminderung konnte die Schalleistung der Luftreinigungsgeräte um bis zu 8 dB(A) reduziert werden. Im Allgemeinen ist dabei zu beachten, dass für eine effektive Pegelreduktion sowohl die Saug- als auch die Druckseite bedämpft werden müssen. Die dargestellten Maßnahmen, wie z. B. die eingesetzten Aktiv-Resonatoren sind für einen marktgerechten Einsatz allerdings noch in Größe und Ausgestaltung an die Geometrie der Luftreinigungsgeräte anzupassen.

Danksagung

Das Projekt „ReinluftAkustik“ wurde gefördert im Rahmen der internen Programme der Fraunhofer-Gesellschaft, Fördernummer KMU-Akut 840 083.

Literatur

- [1] GB/T 18801: Air Cleaner, Ausgabe 2015
- [2] VDI 2081 Blatt 1:2019-03 Raumluftechnik; Geräusch-erzeugung und Lärminderung. Berlin: Beuth Verlag
- [3] VDI 2569:2019-10 Schallschutz und akustische Gestaltung in Büros, Berlin: Beuth Verlag
- [4] ASR A3.7:2021 Technische Regeln für Arbeitsstätten; Lärm. Bundesministerium für Arbeit und Soziales
- [5] VDI-EE 4300 Blatt 14:2021-09 Messen von Innenraum-luftverunreinigungen - Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten
- [6] Zhou, X.; Späh, M; Bay, K.; Zhang, T.: Berechnung der Schallpegel im Raum aus der Quellenleistung. DAGA 2022, 48. Jahrestagung für Akustik, Stuttgart
- [7] DIN EN 63086-1:2021-06 Elektrische Luftreiniger für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Messung der Gebrauchseigenschaften- – Teil 1 Berlin: Beuth Verlag
- [8] DIN EN 60704-1:2010-12 Elektrische Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Prüfvorschrift für die Bestimmung der Luftschallemission – Teil 1. Berlin: Beuth Verlag
- [9] DIN EN ISO 3743:2011-01 Bestimmung der Schallleistung- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern - Teil 1: Vergleichsverfahren in einem Prüf-raum mit schallharten Wänden. Berlin: Beuth Verlag
- [10] DIN EN ISO 3744:2011-02 Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene. Berlin: Beuth Verlag
- [11] DIN EN 16211:2015-09 Lüftung von Gebäuden – Luft-volumenstrommessung in Lüftungssystemen. Berlin: Beuth Verlag
- [12] DIN EN ISO 5801:2018-04 Ventilatoren – Leistungs-messung auf genormten Prüfständen. Berlin: Beuth Verlag
- [13] Beer et al.: Luftreinigungsgeräte – akustische Anforderungen und Optimierungsmöglichkeiten. DAGA 2022, 48. Jahrestagung für Akustik, Stuttgart