Untersuchungen zur Schallleistung und -dämmung eines dezentralen Lüftungsgerätes

Andreas Ruff, Andreas Drechsler, Berndt Zeitler Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart, E-Mail: andreas.ruff@hft-stuttgart.de

Einleitung

Für den Schallschutz von Fassaden stellen generell alle Öffnungen und Durchdringungen der Gebäudehülle Schwachpunkte dar. Neben den Fensteröffnungen sind dies vor allem auch Lüftungsöffnungen in der Fassade. Für energetisch optimierte Gebäude wird zur Sicherstellung eines ausreichenden Luftwechsels oftmals eine Lüftungseinrichtung benötigt. Dabei können entweder eine zentrale Lüftungsanlage oder auch einzelne dezentrale Lüftungsgeräte zum Einsatz kommen. Im vorliegenden Beitrag geht es um Untersuchungen an einem dezentralen Lüftungsgerät. Insbesondere bei der Gebäudesanierung, aber auch in Neubauten, werden häufig dezentrale Lüftungsgeräte eingesetzt, die die Gebäudehülle durchdringen und den Schallschutz damit deutlich vermindern können. Zur akustischen Beschreibung von dezentralen Lüftungsgeräten sind dabei vor allem zwei wesentliche Eigenschaften von Bedeutung: 1.) Wie viel Geräte-Schallleistung wird bei einem gewünschten bzw. notwendigen Luftwechsel in den Innenraum, z.B. schutzbedürftige Wohn- und Schlafräume, abgestrahlt? 2.) Wie hoch ist die Schalldämmung des Lüftungsgeräts bzw. in welchem Maß beeinflusst sie die Schalldämmung der Fassade?

Im Rahmen eines Forschungsprojekts [1] an der HFT Stuttgart mit dem Teilbereich "Akustik von energetisch optimierten Fassaden" werden die oben genannten Fragestellungen an einem dezentralen Lüftungsgerät beim Einbau in eine Leichtbauwand und in eine Massivwand mit Wärmedämmverbundsystem messtechnisch untersucht. Zusätzlich sollen aus den Ergebnissen Optimierungsansätze abgeleitet werden.

Beschreibung des untersuchten Lüftungsgeräts

Bei dem untersuchten Lüftungsgerät handelt es sich um einen so genannten Rohrwandlüfter mit Zuluft- und Abluftbetrieb und Wärmerückgewinnung (siehe Abbildung 1). Das Gerät arbeitet in der Regel mit einem alternierenden Betrieb, d.h. jede Minute wird zwischen Zuluft und Abluft umgeschaltet, es kann aber auch als reines Zuluft- oder Abluftgerät eingesetzt werden. Für den Normalbetrieb stehen drei Leistungsstufen mit 15, 32 und 45 m³/h zur Verfügung, mittels einer App-Steuerung können aber auch andere Luftleistungen zwischen 7 und 45 m³/h eingestellt werden. Es lassen sich auch mehrere Geräte miteinander vernetzten und über die entsprechende App steuern.

Das Kunststoffrohr hat einen Durchmesser von 160 mm und wird beim Einbau in eine Kernlochbohrung in der Wand eingesetzt. Im Auslieferungszustand ist das Rohr 500 mm lang und wird entsprechend der vorliegenden Wanddicke bauseits gekürzt. Alle wesentlichen Funktionselemente - der Ventilator, ein Filter und der keramische Speicherstein für die Wärmerückgewinnung - sind im Rohr angeordnet, so dass das Gehäuse, das auf der Innenwand angebracht wird, relativ kompakt gehalten ist. Das Gehäuse kann bei Nicht-Betrieb des Lüftungsgeräts mit einem Schieber manuell oder optional elektrisch geschlossen werden.

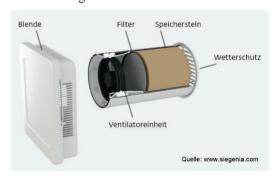


Abbildung 1: Schematische Darstellung des untersuchten Lüftungsgeräts.

Für den Abschluss auf der Außenseite stehen verschiedene Wetterschutz-Blenden zur Verfügung: eine Standard-Blende mit Metalllamellen, eine Kunststoffblende sowie eine Wetterschutzhaube aus rostfreiem Stahlblech (mit Melaminharzschaum auf der Innenseite). Die unterschiedlichen Blenden sind in Abbildung 2 dargestellt.







Abbildung 2: Verschiedene Außenblenden des untersuchten Lüftungsgeräts: Standard-Metallblende (links), Kunststoffblende (Mitte) und Metall-Wetterschutzhaube (rechts).

Für das Projekt stehen insgesamt drei baugleiche Lüftungsgeräte zur Verfügung. Nach einigen Vergleichsuntersuchungen der einzelnen Geräte soll ein Gerät weiterhin als Referenzgerät dienen, während an den beiden anderen Lüftungsgeräten Modifikationen zur Untersuchung von Optimierungsansätzen vorgenommen werden können.

Messtechnische Untersuchungen

Für die messtechnischen Untersuchungen im Prüfstand wurde das Lüftungsgerät sowohl in eine Leichtbauwand (im Fensterprüfstand der HFT Stuttgart) als auch in eine Massivwand mit Wärmedämmverbundsystem (im Türenprüfstand der HFT Stuttgart) eingebaut.

Die Leichtbauwand hatte dabei eine Gesamtdicke von 500 mm und bestand aus zwei voneinander getrennten Holzrahmen, die auf der Außenseite mit jeweils zwei Lagen Gipsplatten (d = 12,5 mm) beplankt waren. Der Zwischenraum (450 mm) wurde mit Mineralwolle gefüllt.

Bei der Massivwand handelte es sich um 150 mm dickes Kalksandstein-Mauerwerk (RDK 1.8). Das Mauerwerk wurde auf der Innenseite dünn verspachtelt und auf der Außenseite mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS), bestehend aus 2 x 100 mm Mineralfaser-Lamellenplatten, versehen. Anstelle eines Außenputzes wurde als äußerer Abschluss eine 12,5 mm dicke Gipsplatte verbaut.

Die Messung der Schalldämmung des Lüftungsgeräts als Norm-Schallpegeldifferenz D_{n,e} für kleine Bauteile erfolgte nach DIN EN ISO 10140-2 [2] mittels Mikrofonschwenkanlagen. Die Bestimmung der Schallleistung im Empfangsraum erfolgte mit dem Vergleichsverfahren mit PTB-kalibrierter Referenzschallquelle nach DIN EN ISO 3743 [3]. Dabei wurde der Schalldruckpegel an acht Positionen im Raum mit LowNoise-Mikrofonen bestimmt.

Untersuchungen mit einer Leichtbauwand

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme wurde zuerst die Norm-Schallpegeldifferenz des offenen (Betriebszustand) und geschlossenen Lüfters gemessen, die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

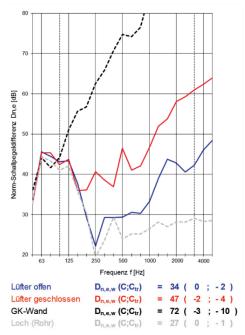


Abbildung 3: Norm-Schallpegeldifferenz des offenen (Betriebszustand) und geschlossenen Lüfters sowie der GK-Leichtbauwand (ohne Lüftungsgerät) und des Rohres (Loch ohne Geräteeinschub).

Die Schalldämmung des offenen Lüfters (Betriebszustand) ist in einer marktüblichen Größenordnung (siehe auch [4]). Mit dem geschlossenen Lüfter ist eine deutlich höhere Schalldämmung als mit dem offenen Lüfter erreichbar, obwohl hierbei nur die Lüftungsöffnungen im Innengehäuse mit einem Kunststoffschieber verschlossen werden. In geschlossenem Zustand ist jedoch kein Lüftungsbetrieb

möglich, daher hat dieser Zustand für die Praxis eher eine untergeordnete Bedeutung. Weitere Messungen mit dem offenen und in Betrieb befindlichen Lüfter haben gezeigt, dass die Schalldämmung vom Betriebsgeräusch des Lüfters unabhängig ist.

In Abbildung [4] ist die Geräte-Schallleistung für die drei Hauptstufen - 15, 32 und 45 m³/h - dargestellt, der Zuluftund Abluftbetrieb wurde dabei jeweils separat gemessen.

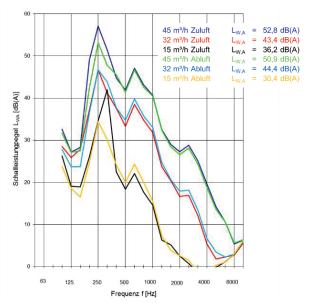


Abbildung 4: Geräte-Schallleistung bei 15, 32 und 45 m³/h - Zuluft- und Abluftbetrieb jeweils separat gemessen.

Auffallend sind jeweils die Pegelspitzen bei 250 Hz (Ausnahme: Zuluft mit 15 m³/h), die sich auch durch die Länge des Rohres ergeben. Diese Spitzen bestimmen maßgeblich den Summenpegel der Schallleistung. Die Pegelverläufe bei Zuluft- und Abluftbetrieb sind sehr ähnlich, wobei der Zuluftbetrieb tendenziell etwas lauter ist.

Die Messungen der Schallleistung wurden mit allen drei zur Verfügung stehenden Lüftungsgeräten durchgeführt und führten zu einer sehr guten Übereinstimmung zwischen den einzelnen Geräten, so dass man von einer geringen Serienstreuung ausgehen kann.

Als möglicher Optimierungsansatz wurde das Kunststoffrohr im Bereich zwischen dem Wärmetauscher-Speicherstein und der Außenblende mit Löchern (Durchmesser: 8 mm) in zwei Schritten - auf 10 cm und auf 20 cm Länge - perforiert (siehe Abbildung 5). Damit sollten die Absorptionseigenschaften der Mineralwolle im Wandzwischenraum genutzt werden.

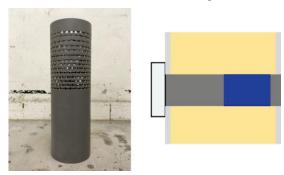


Abbildung 5: Rohr mit 20 cm Perforierung (links) und schematische Darstellung der Lage in der Leichtbauwand.

In Abbildung 6 sind die Schallleistungspegel für den Abluftbetrieb mit 20 cm perforiertem Rohr im Vergleich zum normalen Rohr dargestellt.

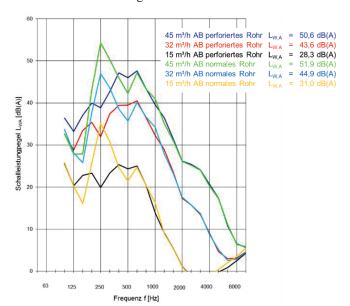


Abbildung 6: Schallleistungspegel bei Abluftbetrieb mit normalem und 20 cm perforiertem Rohr - Leichtbauwand.

Durch den Einsatz des perforierten Rohres können die Pegelspitzen bei 250 Hz um mehr als 10 dB und damit auch der Summenpegel der Schallleistung reduziert werden.

Vor allem die Schalldämmung des Lüftungsgeräts lässt sich durch den Einsatz des perforierten Rohres deutlich verbessern - über den gesamten Frequenzbereich ab 125 Hz und damit auch die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w}$ (siehe Tabelle 1, Lüftungsgerät im Betriebszustand).

Tabelle 1: Bewertete Norm-Schallpegeldifferenzen des Lüftungsgeräts (im Betriebszustand) mit normalem und perforiertem Rohr sowie unterschiedlichen Außenblenden.

	Norm-Schallpegeldiff. Dn,e,w [dB]	
	normales Rohr	perf. Rohr
Standard-Metallblende	34,9	46,4
Kunststoffblende	35,1	46,9
Wetterschutzhaube	38,9	50,3

Bei der Schalldämmung ist der Effekt durch das perforierte Rohr deutlich ausgeprägter als bei der Schallleistung. Die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz des Lüftungsgeräts lässt sich durch das perforierte Rohr um rund 11 dB verbessern. Das lässt sich damit erklären, dass die Absorption beim Schalldurchgang durch das Rohr optimal wirken kann, während sich beim Geräteschall die maßgebliche Geräuschkomponente - der Ventilator - relativ weit entfernt von der Perforierung befindet und größtenteils direkt in den Innenraum abstrahlt. Zusätzlich befindet sich auch noch der Speicherstein zwischen der Perforierung und dem Ventilator. Mögliche Variationen der Komponenten, z.B. ein Verschieben der Ventilator- und Wärmespeichereinheit nach außen und ein Anordnen der Perforierung zwischen Ventilator und Innengehäuse, sollen noch untersucht werden.

Untersuchungen mit einer Massivwand

Das Lüftungsgerät wurde in die zuvor beschriebene Massivwand mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS) eingebaut. Dazu mussten die Rohre entsprechend gekürzt werden. Die Perforierung des Rohres konnte im Bereich des Mineralfaser-WDVS angeordnet werden, allerdings wurden durch den Geräteeinschub 10 cm der Perforierung verdeckt, so dass effektiv nur 10 cm der Perforierung wirksam waren. In Abbildung 7 ist der Vergleich der Schallleistung mit dem perforierten Rohr für die Massiv- und die Leichtbauwand für den Abluftbetrieb dargestellt.

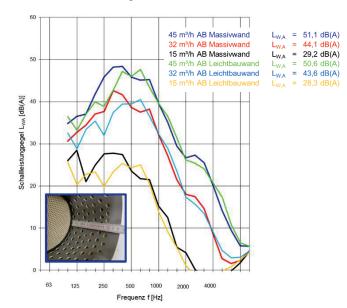


Abbildung 7: Schallleistungspegel bei Abluftbetrieb mit perforiertem Rohr - Massivwand und Leichtbauwand.

Die Ergebnisse mit der Massivwand mit 10 cm wirksamer Perforierung sind vom Frequenzverlauf ähnlich wie bei der Leichtbauwand mit 20 cm Perforierung. Unterschiede ergeben sich hauptsächlich bei 250 Hz und 315 Hz, dennoch sind die Einzahlwerte sehr ähnlich. Bei den Messungen mit der Leichtbauwand konnte schon zuvor gezeigt werden, dass 10 cm Perforierung fast gleich wirksam sind wie 20 cm Perforierung.

Um einen Fasereintrag von der Mineralfaser-Dämmung in den Luftstrom zu verhindern, müssen die Löcher im Rohr für die praktische Anwendung abgedeckt werden. Daher wurde das Rohr zusätzlich auf der Außenseite mit einem selbstklebenden Akustikvlies (Flächengewicht ca. 80 g/m²) versehen. Beim Vergleich der Messungen mit und ohne Akustikvlies ergaben sich nahezu deckungsgleiche Frequenzspektren, so dass man davon ausgehen kann, dass das Abdecken der Löcher mit einem geeigneten Vlies keinen negativen Einfluss auf den Schallleistungspegel hat.

Hinsichtlich der Schalldämmung ist die Verbesserung mit dem perforierten Rohr bei der Massivwand deutlich geringer als bei der Leichtbauwand. Beim normalen Betriebszustand (Lüfter offen) beträgt beispielsweise die Verbesserung rund 4 dB. Bei der Schalldämmung spielt einerseits die kürzere verfügbare Perforierung des Rohres eine Rolle, andererseits sind auch die Absorptionseigenschaften der deutlich druckfesteren Mineralfaser des Wärmedämmverbundsystems eher geringer.

Vergleich mit Normanforderungen

Nach DIN 4109-1 [5] bestehen Anforderungen an raumlufttechnische Anlagen im eigenen Bereich. Der maximal zulässige A-bewertete Schalldruckpegel in Wohn- und Schlafräumen beträgt demnach $L_{AF,max,n}=30$ dB(A). Bei Dauergeräuschen ohne auffällige Einzelgeräusche sind 5 dB höhere Werte zulässig, ebenso dürfen einzelne, kurzzeitige Geräuschspitzen, die beim Ein- und Ausschalten der Geräte auftreten, den Anforderungswert um maximal 5 dB überschreiten

Um einen Vergleich zwischen Anforderungswert und Messwert zu ermöglichen, müssen die Schallleistungspegel L_W in Schalldruckpegel L_P umgerechnet werden. Die Umrechnung für ein diffuses Schallfeld und eine Position außerhalb des Hallradius erfolgt folgendermaßen:

$$L_P = L_W - 10lg(A/m^2) + 6$$
 [dB] (1)

Für den Norm-Schalldruckpegel $L_{AF,max,n}$ bzw. $L_{A,n}$ mit einer zu berücksichtigenden äquivalenten Absorptionsfläche von $A=10~\rm m^2$ ergibt sich für die A-bewerteten Einzahlwerte folgender einfacher Zusammenhang:

$$L_{A,n} = L_{WA} - 4 \qquad [dB(A)] \qquad (2)$$

Somit werden beim untersuchten Lüftungsgerät die Anforderungen der DIN 4109 nur mit der niedrigsten Stufe, d.h. mit einem Volumenstrom von 15 m³/h, erfüllt. Mit den höheren Leistungsstufen ergeben sich zum Teil deutlich höhere Schalldruckpegel.

Im Entwurf zu DIN 4109, Teil 5 [6], der erhöhte Schallschutzanforderungen stellt, beträgt der maximal zulässige Abewertete Schalldruckpegel in Wohn- und Schlafräumen $L_{AF,max,n}=27$ dB(A). Die Anforderung gilt nachts bei reduzierter Lüftung mit mindestens 70 % des maximalen Luftvolumenstroms. Beim untersuchten Gerät entspricht das der mittleren Leistungsstufe (32 m³/h).

Zusammenfassung

Die Vergleichsuntersuchungen der drei einzelnen Lüftungsgeräte aus unterschiedlichen Chargen lieferten sehr ähnliche Ergebnisse. Insgesamt betrachtet ist auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse recht gut.

Die Perforierung des Rohres im Bereich der Dämmung als Optimierungsansatz bringt eine deutliche Verbesserung - sowohl für die Schallleistung als auch für die Schalldämmung des Geräts. Ein Akustikvlies zur Verhinderung eines Fasereintrags hat keinen negativen Einfluss auf die Wirksamkeit der Perforierung. Durch die Platzierung der Perforierung in der Nähe des Ventilators kann die Wirksamkeit hinsichtlich der Schallleistungs-Minderung vermutlich noch verbessert werden.

Beim alternierenden Betrieb verhält sich das Gerät durch das Umschalten, die kurze "ruhige" Phase und das "Hochlaufen" anders als beim reinen Zuluft- oder Abluftbetrieb. Dies wird teilweise auch in den Normen, die Anforderungen an den zulässigen Schalldruckpegel in eigenen schutzbedürftigen

Wohn- und Schlafräumen stellen, berücksichtigt. Dennoch können mit dem untersuchten Lüftungsgerät die Anforderungen nur mit der niedrigsten Standard-Betriebsstufe eingehalten werden.

Ausblick

Als nächster Schritt bei den Untersuchungen mit der Massivwand ist geplant, die Größe der Mineralfaser-Wärmedämmung um das Rohr herum schrittweise zu verkleinern. Somit soll die für die Wirksamkeit der Perforierung notwendige Größe bestimmt werden. Für die praktische Anwendung ist es denkbar, dass eine Art Absorber-"Ring" bzw. "-Kasten" aus Mineralfaser um das perforierte Rohr herum im Bereich eines Hartschaum-WDVS (z.B. bei KS-Mauerwerk) oder im äußeren Teil einer Massivwand (z.B. bei Porenbeton- oder Hochlochziegel-Mauerwerk) eingebaut werden kann.

Im Anschluss soll noch durch Modifikation der einzelnen Lüfterkomponenten die Perforierung im Bereich zwischen Ventilator und Innengehäuse angeordnet werden, um so eine bessere Wirksamkeit hinsichtlich der Minderung des Geräteschalls zu erreichen.

Zusätzlich soll noch die schalltechnische Wirksamkeit von Kulissen im Rohr untersucht werden, dabei ist jedoch eine Reduzierung des Luftdurchsatzes zu erwarten.

Förderhinweis

Das Forschungsprojekt "i_city - intelligente Stadt" mit dem Teilprojekt "Akustik von energetisch optimierten Fassaden" wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Fördernummer 13FH9I01IA gefördert.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Literatur

- [1] Forschungsprojekt "i_city intelligente Stadt" an der Hochschule für Technik Stuttgart, Forschung an Fachhochschulen, Laufzeit 01.01.2017 bis 31.03.2021
- [2] DIN EN ISO 10140-2: Akustik Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand Teil 2: Messung der Luftschalldämmung; Dezember 2010
- [3] DIN EN ISO 3743-1: Akustik Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Teil 1: Vergleichsverfahren in einem Prüfraum mit schallharten Wänden, Januar 2011
- [4] Drechsler, A., Eschbach, P., Fischer, H.-M.: Schallleistungsmessung von dezentralen Lüftungsgeräten, DAGA 2016, Aachen
- [5] DIN 4109-1: Schallschutz im Hochbau Teil 1: Mindestanforderungen, Januar 2018
- [6] E DIN 4109-5: Schallschutz im Hochbau Teil 5: Erhöhte Anforderungen, Entwurf Mai 2019