

Ralph Krause

Akustisches Diagnoseverfahren zur Bestimmung der Staubbelastung in lufttechnischen Anlagen

In der Klimatechnik wird zurzeit den Fragen hygienebewusster Planung, Ausführung, Betriebsführung und Instandhaltung von RLT-Anlagen besondere Aufmerksamkeit geschenkt (Entwurf VDI 6022, Vornorm DIN V ENV 12097). Es wird darüber beraten, welche Form, Lage und Maße die Einstiegs- und Zugangstüren, die zur Reinigung von Zu- und Abluftleitungen nötig sind, haben sollten und wie durch Hygieneinspektionen, Schulung des Personals und technische Maßnahmen die Raumlufthygiene weiter verbessert werden kann.

Acoustic diagnosis process for determination of dust loading in ventilating and air-conditioning systems

Today the question of hygienic orientated planning, construction, operation and maintenance of ventilating and air-conditioning systems is paid especial attention (draft VDI 6022, draft DIN V ENV 12097). It is discussed which shape, place and dimensions the inlet doors required for cleaning of outlet air ducts should have and how the room air quality could be improved further by hygiene inspections, training of operational personnel and technical measures.

Keywords: air duct, diagnosis, acoustics, dust depositions, hygienics, cleaning

Problembeschreibung

Zurzeit wird – wenn überhaupt – in regelmäßigen Zeitabständen gereinigt. Da eine Reinigung jedoch beträchtliche Kosten verursacht und das Innere der Luftkanäle meist schlecht zugänglich ist, hat die Bestimmung des optimalen Zeitpunktes der Reinigung große Bedeutung.

Für die technische Diagnose von Schmutzablagerungen in Klimageräten, Zu- und Abluftleitungen sind keine Verfahren bekannt. Deshalb wird über Türen und Revisionsöffnungen durch Augenschein die Verschmutzung ermittelt und die Entscheidung über die Notwendigkeit einer Reinigung gefällt. Während hinsichtlich der Verschmutzung von Filtern, Wärmeübertragern usw. diese Entscheidung auch an Hand gesteigerter Druckverluste getroffen werden kann, ist das bei Zu- und Abluftleitungen in der Regel nicht möglich. Treten in den Ventilatoren zudem Anbackungen auf, können sich ihre Kennlinien verändern, wodurch weitere Einflüsse entstehen.

Es ist davon auszugehen, dass in Luftkanälen die Schichtdicke und Struktur der Ablagerungen und ihre Feuchte längs des Strömungsweges und über den Umfang stark variiert, so dass je nach Einsatz die hygienischen Bedingungen oder ein Abtransport örtlich angehäufelter Anbackungen mit dem Luftstrom sowohl das Diagnoseverfahren als auch die Reinigungszyklen bestimmt. Darüber hinaus verändert sich je nach Einsatzbereich die Zusammensetzung der Schmutzschicht.

Im Ergebnis des Forschungsvorhabens steht ein Gerätesystem zur Verfügung, welches die Staubbelastung in lufttechnischen Anlagen sowohl periodisch als

auch online bestimmen kann. Bereits abgeschlossene Untersuchungen zu einem akustischen Diagnoseverfahren zur Bestimmung der Staubbelastung in lufttechnischen Anlagen bildeten die Basis für diese Geräteentwicklung.

Eigene Arbeiten mit Bezug zum Vorhaben

Das *Institut für Luft und Kältetechnik* ist u.a. auf den Gebieten der Klima-, Strömungs-, Wärme- und Umwelttechnik tätig und ist so strukturiert, dass es auf diesen Gebieten bei Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Engineering wissenschaftlich-technische Leistungen erbringt und eine Mittlerrolle zwischen Forschung und Industrie einnimmt.

In einem vorangegangenen Forschungsvorhaben wurde das akustische Verfahren zur Diagnose der Staubbelastung lufttechnischer Anlagen entwickelt und unter Laborbedingungen getestet. Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde das neue Gerätesystem entwickelt.

Entwicklungsergebnisse

Zur Messung der örtlichen Schichtdicken bzw. der zusätzlichen Massen werden die Reflexion (ähnlich DIN EN 20354), der Schalldurchgang und eine Veränderung der Schwingform einmal bei sauberen und einmal bei verschmutzten Oberflächen herangezogen, wobei möglichst keine oder nur kleine Öffnungen in den Wänden wünschenswert sind. Jede konzipierte Variante hat ihre Vor- und Nachteile, die aus der Vielseitigkeit der Aufgabe (Ausführung und Befestigung der Rohrleitung, möglicherweise Wärmedämmung der Kanäle, Größe und

Dämpfungsverhalten der umgebenden Räume, Struktur und Zusammensetzung der Ablagerungen, Eigenschaften des Messgeräusches, Störungen durch Luftgeräusche am Mikrophon usw.) resultieren. Deshalb muss die Aufgabe zunächst auf typische Fälle beschränkt werden.

Für die akustischen Grundsatzuntersuchungen standen im Fachbereich Klimatechnik des ILK Dresden ein Hallraum mit einem Volumen von 200 m³ (Raumeignungsprüfung gemäß DIN 45635 Teil 2) und einer akustisch abgekoppelten Luftversorgung sowie alle notwendigen Schall- und Schwingungsmessgeräte (Firma Brüel & Kjaer: Echtzeit-Frequenzanalysator, Kondensatormikrofone, Vorverstärker, Schallkalibratoren, Beschleunigungsaufnehmer usw.) zur Verfügung.

Für weiterführende Modelluntersuchungen wurde ein Modellversuchsstand aufgebaut und genutzt. Er bestand aus der vorhandenen Luftversorgung des Hallraumes (Klimablock zur Erzeugung vorgegebener Geschwindigkeiten Feuchten und Temperaturen), dem eigentlichen Messobjekt, der im Hallraum verlaufenden Rohrleitung, einer Staubdosiereinrichtung stromauf und einem Luftfilter stromab vom Messobjekt. Untersuchungen wurden mit natürlichem Staub in der Versuchshalle und mit speziellem Prüfstaub durchgeführt. Zur Beschleunigung der Staubablagerung wurden elektrostatische Filterelemente an den Kanalwänden angeordnet.

Grundlage des Verfahrens ist die Abhängigkeit der Schallabsorption und der Schallreflexion von der Beschaffenheit einer Oberfläche. Zur systematischen Entwicklung des Diagnoseverfahrens wurden Schallabsorptionsmessungen im Hallraum des ILK durchgeführt.

Einen Auszug der Messergebnisse zeigt Bild 1. Es ist zu erkennen, dass das Absorptionsverhalten stark frequenzabhängig ist. Bei dem hier verwendeten Prüfstaub liegt die maximale Schallabsorption bei der Oktavmittelfrequenz von 4 kHz. Mit anderen Prüfstäuben kommt es zu einer Verschiebung der Absorptionsfrequenz. Es ist außerdem eine systematische Abhängigkeit der Größe des Absorptionsgrades von der Dicke der Staubschicht festzustellen.

Es lassen sich damit zwei grundsätzliche Thesen formulieren:

1. Über die Größe des Absorptionsgrades in einem bestimmten Frequenzbereich lässt sich die Menge der Staubbelastung bestimmen.
2. Anhand des Frequenzbereiches, in dem eine erhöhte Schallabsorption erfolgt, kann auf die Eigenschaften des Staubes geschlossen werden.

Die im Hallraum gewonnenen Erkenntnisse wurden an einem Testkanal untersucht. Dazu wurde ein handelsüblicher Lüftungskanal aus verzinktem Stahlblech, $s = 0,8$ mm in gesickter Ausführung, mit einem Querschnitt von 700×700 und einer Gesamtlänge von ca. 10 m für die Untersuchungen im Versuchsfeld des ILK aufgebaut.

Durch eine Modifikation des Messverfahrens entsteht eine von der Schallabsorption abhängige neue Messgröße. Dabei konnte festgestellt werden, dass bereits geringste Staubmengen von nur wenigen Gramm je Quadratmeter bei geeignet gewählten Frequenzbändern eine starke Veränderung der Absorptions- und Reflexionseigenschaft bewirken.

In Bild 2 ist die mit dem modifizierten Verfahren gewonnene Messgröße in Abhängigkeit von der spezifischen Staubmasse im Prüfkanaal dargestellt. Mit den Ergebnissen bestätigen sich die Erkenntnisse der Vorversuche zur Schallabsorption im Hallraum. Außerdem zeigt sich, dass mit der für die Diagnose gewählten Frequenz der Messbereich für die spezifische Staubmenge beeinflusst werden kann. So ist bei dem hier verwendeten Prüfstaub bei einer Terzmittelfrequenz von 12,7 kHz bereits bei kleinsten Staubmengen eine gute Abhängigkeit des Absorptionsverhaltens zu erkennen. Bei einer Mittelfrequenz von 1,6 kHz hingegen lassen sich auch größere Staubbelastungen bis ca. 50 g/m² nachweisen. Im Entwurf der VDI 6022 wird ein Grenzwert für die Staubbelastung in Lüftungskanalsystemen von 17,5 g/m² vorgeschlagen.

Das für die bisher beschriebenen Untersuchungen verwendete Messverfahren zur Diagnose der spezifischen Staubbelastung in Luftkanälen beruht auf der Bestimmung der Nachhallzeit. Mit Hilfe von Rauschimpulsen lassen sich die entsprechenden Abklingkurven berechnen. Im Interesse einer akzeptablen Genauigkeit sollte dabei mindestens ein Pegelabfall von 20 dB messbar sein. Das bedeutet, dass der Erregerpegel mindestens 23 dB über dem Umgebungsgeräusch liegen muss. Bei den meisten praktischen Anwendungsfällen ist diese Forderung ohne weiteres erfüllbar. Mit einer Modifizierung des akustischen Messverfahrens besteht die Möglichkeit, Aussagen sowohl über die lokale als auch über die integrale Staubbelastung eines Luftkanals zu treffen.

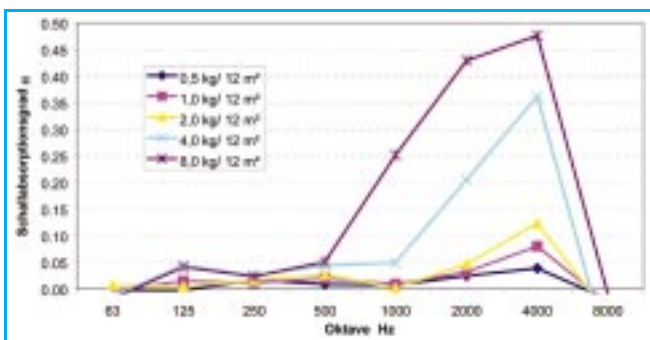


Bild 1: Schallabsorptionsgrad einer mit Prüfstaub bedeckten Oberfläche abhängig von der Frequenz und der Staubmenge

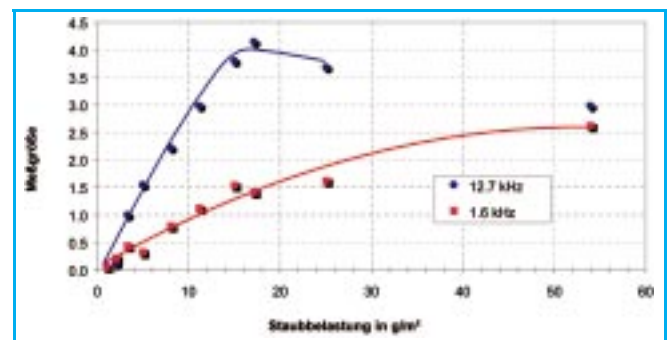


Bild 2: Abhängigkeit der Messgröße von der in einen Luftkanal eingebrachten Menge Prüfstaub

Referenzobjekte

Für die Erprobung des neuen Diagnoseverfahrens und zur Optimierung der Messsysteme wurden die folgenden Referenzobjekte ausgewählt:

Deutsches Hygienemuseum Dresden Dezentrales Servicegerät zur periodischen Diagnose



Sächsische Staatsoper - Semperoper Dezentrales Servicegerät zur periodischen Diagnose



Fassadenmodell im ILK Dresden Kontinuierliche Diagnose (Online-Analyse)



Anwendernutzen

Das vom ILK Dresden entwickelte und patentierte akustische Diagnoseverfahren zur Bestimmung der Luftkanalverschmutzung in RLT-Anlagen ist den bis-

her üblichen Verfahren auf Grund seiner folgenden speziellen Eigenschaften weit überlegen:

- Die Diagnose kann bei laufender Anlage erfolgen.
- Es lassen sich die spezifische Staubbelastung und die speziellen Eigenschaften der Verschmutzung bestimmen.
- Das Verfahren benötigt nur sehr kleine Öffnungen im Luftkanal zur Einbringung von Schallquelle und Mikrofon (Bohrung ca. $d = 20 \text{ mm}$).

Das ILK leistet mit dieser Entwicklung einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des effektiven Einsatzes von RLT-Anlagen. Mit einer ordnungsgemäß funktionierenden, immer zum richtigen Zeitpunkt gereinigten Lüftungsanlage wird nicht nur die Funktionstüchtigkeit und damit die Wirtschaftlichkeit der entsprechenden Anlage garantiert. Sie leistet auch einen entscheidenden Beitrag zur Sicherung des Brandschutzes, zum Schutz der Gesundheit und zur Steigerung des Wohlbefindens der Personen, welche sich in den angeschlossenen Räumen aufhalten.

Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit: „Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen und externen Industrieforschungseinrichtungen in den neuen Bundesländern“

Schlüsselwörter

Luftkanal
Diagnose
Verschmutzung
Akustik
Staub
Hygiene
Reinigung