

## Reinigbare und chemisch beständige Schallabsorber

Karlheinz Bay  
Andreas Schmohl  
Peter Brandstät

*Univ.-Prof. (em.) Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis  
zum 80. Geburtstag gewidmet*



# Reinigbare und chemisch beständige Schallabsorber

In modernen energieeffizienten Heizungsanlagen mit geringer Abgastemperatur kondensiert der beim Verbrennungsvorgang entstandene Wasserdampf im Abgasstrang und bildet in Verbindung mit den Abgasen korrosives Kondensat. Das Absorbermaterial für Abgasschalldämpfer muss somit akustische Eigenschaften mit chemischer Beständigkeit verbinden. Gemeinsam mit einem Hersteller von Abgasschalldämpfern und einem Hersteller von PTFE-Produkten wurde ein Schallabsorber entwickelt, der über die integralen Eigenschaften Kondensatbeständigkeit, Schallabsorption mittlerer und hoher Frequenzen, Reinigbarkeit und Wiederverwendbarkeit verfügt. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse des hierzu durchgeführten Forschungsvorhabens [1, 2] vor. Ausgehend von der Materialauswahl wird der Ansatz für eine nachhaltige Lösung des akustischen, ökologischen und letztlich auch ökonomischen Problems dargestellt. Im Labormaßstab wurden Muster von Absorbern erstellt und chemische sowie akustische Eigenschaften ermittelt. Anhand eines Materialmodells werden die Eingangsdaten für ein Absorbermodell abgeleitet. Modellrechnungen werden Messungen gegenübergestellt und diskutiert. Möglichkeiten zur Reinigbarkeit und Wiederverwertung des Schallabsorbers zeigt das Beispiel eines Schalldämpfers für Heizungsanlagen. Über den dargestellten Projektansatz hinaus weisen reinigbare und chemisch beständige Schallabsorber ein erhebliches Transferpotential in andere Marktbereiche wie der Medizintechnik und Lebensmittelindustrie auf.

**Stichworte:** Schallabsorber; Schalldämpfer; reinigbar; chemikalienbeständig; Recyclingprodukt; PTFE

## 1 Einleitung

Der Stand der Technik hält grundsätzlich eine Reihe von Absorbermaterialien bereit, von Mineralfasern über Metallwolle, offenzelligen Schäumen bis hin zur großen Gruppe der haufwerksporigen Stoffe. Die ausreichende chemische Beständigkeit von Edelstahl und Polypropylen ist bekannt, da diese Materialien zur Herstellung von Abgasleitungen im Niedertemperaturbetrieb eingesetzt werden. Die Suche nach chemisch inerten Materialien für den Einsatz als Schallabsorber einerseits und die Suche nach Anwendungen, in denen die Eigenschaften von PTFE-Abfallprodukten zur Geltung kommen andererseits, bieten das Potenzial zur gleichzeitigen Lösung von zwei Problemstellungen, denn bei der Verwertung von PTFE-Abfallprodukten für den Einsatz als korrosionsbeständige Schallab-

## Cleanable and chemically resistant Sound Absorbers

*In modern energy-efficient heating systems with low waste gas temperature, the water vapor in the exhaust flow generated during the combustion process condenses and forms, in connection with the waste gas, corrosive condensate. Thus, the absorber material for exhaust silencers must combine chemical resistance with acoustic properties. In cooperation with a manufacturer of exhaust silencers as well as a manufacturer of PTFE products, Fraunhofer-IBP developed a sound absorber comprising of the integral properties of condensate resistance, sound absorption in the range of medium and high frequencies together with cleanability and reusability features. This paper presents the results of the research project carried out for this purpose [1, 2]. The approach for a sustainable solution to this acoustic, ecological and finally economic problem is presented that starts from the selection of materials. On a laboratory scale, patches of absorbers were created and their chemical and acoustic properties determined. The input data for the model of an absorber are derived using a material model. These calculations are compared with measurements and are discussed. Possibilities of cleanability and recycling of the sound absorber are illustrated with an example of a silencer for heating systems. The presented project approach for heating systems with cleanable and chemically resistant sound absorbers has a considerable potential for transfer in other sectors such as the medical and food industry.*

**Keywords:** Sound absorber; silencer; cleanable; chemically resistant; recycling product; PTFE

sorber handelt es sich um eine werkstoffliche, sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvolle Verwertung.

## 2 Materialauswahl

Unter den weltweit produzierten Fluorpolymeren stellt Polytetrafluorethylen (PTFE) die größte Gruppe dar. PTFE zeichnet sich unter anderem durch seine besonderen Materialeigenschaften aus wie antiadhäsive Oberfläche, die Einsatzfähigkeit über einen großen Temperaturbereich bis 260 °C, nahezu universelle Chemikalienbeständigkeit, keine Wasseraufnahme sowie hohe UV- und Witterungsbeständigkeit (keine Versprödung oder Alterung). Als Hochleistungswerkstoff wird es daher in vielen Anwendungsbereichen wie Medizintechnik, Luftfahrt, Bauindustrie, Elektronik, Textilindustrie und Automobilindustrie eingesetzt.

Bedingt können Produktionsabfälle wiederverwertet werden. Ein neuer Ansatz zum Upcycling wird derzeit in einer ersten Pilotanlage getestet, bei dem PTFE-Abfälle wieder zu vollwertigen Monomeren umgewandelt werden [3]. Die meisten Produktionsabfälle und Produkte landen jedoch am Ende ihrer Laufzeit in Verbrennungsanlagen oder auf Deponien. Aufgrund ihrer hohen chemischen Stabilität verbleiben sie dort, ohne sich zu zersetzen.

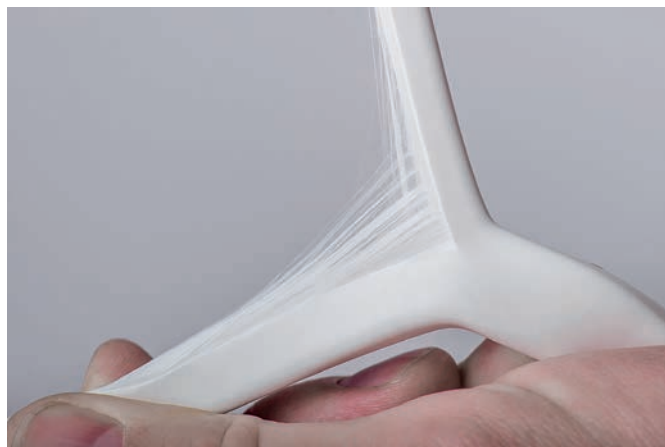
Die Verarbeitung von PTFE erfolgt je nach Anwendung mit unterschiedlichen Verfahren. Für solide Bauteile wird Pulver unter hohem Druck zu Formteilen verpresst und bei Temperaturen über dem Schmelzbereich gesintert. Diese Bauteile haben eine homogene Materialstruktur, sind weitgehend porenfrei und weisen eine Dichte von  $2200 \text{ kg/m}^3$  auf. Zur Herstellung weicher Dichtungsmaterialien werden Pasten mit einer Faserstruktur verarbeitet. Im Prozess der Pastenextrusion wird die Faserstruktur in Formdüsen orientiert. Im anschließenden Verstreckprozess wird die Faserstruktur expandiert und bei hohen Temperaturen gesintert. Als Ergebnis erhält man Dichtungsmaterialien mit hohem Porenanteil und reduzierter Dichte im Bereich von  $500 \text{ kg/m}^3$ .

Die Verwendung von PTFE für Absorber ist wegen der hohen Materialkosten sehr kostenintensiv. Sortenreine Produktionsabfälle, die in den Produktionsprozess zurückgeführt werden, scheiden aus Kostengründen aus. Aus ökologischer Sicht sind Abfälle zu bevorzugen, die nicht recycelt werden können. Beim Einsatz als Absorber ist ein Raumgewicht in der Größenordnung von Mineralwolle anzustreben. Als Anhaltspunkt dazu dient z. B. die Anwendung in Heizungsanlagen, in denen Mineralwolle mit einer Dichte von bis zu  $125 \text{ kg/m}^3$  eingesetzt wird. Für die Untersuchungen wurden daher PTFE-Abfälle mit geringer Dichte als Ausgangsmaterial gewählt, die vielfach bei der Herstellung von Dichtungsmaterial anfallen und die nicht wieder dem Produktionsprozess zugeführt oder nach [3] recycelt werden können.

### 3 Absorber

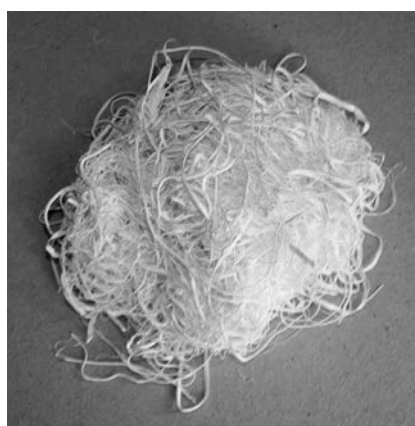
Mit der geringen Dichte des Dichtungsmaterials ist eine hohe Porosität verbunden. Um Aufschluss über akustisch nutzbare offene Poren zu erhalten, wurden Proben anhand von REM-Aufnahmen untersucht. Die Auswertung der Aufnahmen erbrachte jedoch keine Hinweise auf nutzbare Hohlräume, die eine akustische Wechselwirkung mit der inneren Materialporosität ermöglichen. Mit dem Dichtungsmaterial steht somit, wie bei einer Mineralfaser auch, ein schallhartes Material zur Verfügung, das einer mechanischen Nachbearbeitung bedarf, um ein akustisch offenes Porenvolumen zu erzeugen.

Als mögliche Gestaltungsformen des Porenvolumens wurden Schüttungen und Fasern betrachtet. Granulierte Schüttungen können z. B. durch Schreddern hergestellt werden. Die Verarbeitung des weichen Dichtungsmaterials stellt dabei eine gewisse Herausforderung dar. Aufgrund der teigigen Materialkonsistenz erbrachten erste Ansätze zum Granulieren keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Allerdings zeigte sich, dass sich die eindimensional vernetzte Struktur von Dichtungsbändern durch Scheren in Längsrichtung zerfasern lässt (Bild 1).



*Bild 1. In Längsrichtung zerfasertes PTFE-Dichtungsband, das zur Herstellung von Fasern gewählt wurde (Quelle: KWO Dichtungstechnik-GmbH).*

*Fig. 1. A PTFE-sealing tape frayed in length direction that is used for fiber production (Source: KWO Dichtungstechnik GmbH).*



*Bild 2. Aus Produktionsabfällen von PTFE-Dichtungsbändern erstellter Faserverbund (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).*

*Fig. 2. Fiber cluster made from PTFE-sealing tape production waste (Source: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).*

In Anlehnung an die Herstellung von Naturfasern bzw. an das Fibrillieren von Folien mit einer rotierenden Nadelwalze wurde eine rotierende Stahlbürste zur Herstellung von Fasern verwendet. Damit konnte im Labormaßstab die benötigte Anzahl Fasern erstellt werden. Beispielhaft dafür ist in Bild 2 ein Verbund solcher PTFE-Fasern abgebildet.

### 4 Eigenschaften des Faserverbunds

In einem ersten Ansatz wurde der Schallabsorptionsgrad einer 40 mm dicken Probe des PTFE-Faserverbunds im Kundtschen Rohr bestimmt. Zum Vergleich wurde ein handelsüblicher poröser Absorber gleicher Dicke gemessen. Die Ergebnisse der Absorptionsgrade sind in Abhängigkeit von der Frequenz in Bild 3 aufgetragen. Im Vergleich mit dem prototypisch erstellten PTFE-Faserverbund weist der poröse Absorber zwar etwas höhere Absorptionsgrade auf. Allerdings besteht noch ein erheblicher Spielraum zur akustischen Optimierung des PTFE-Faserabsorbers.

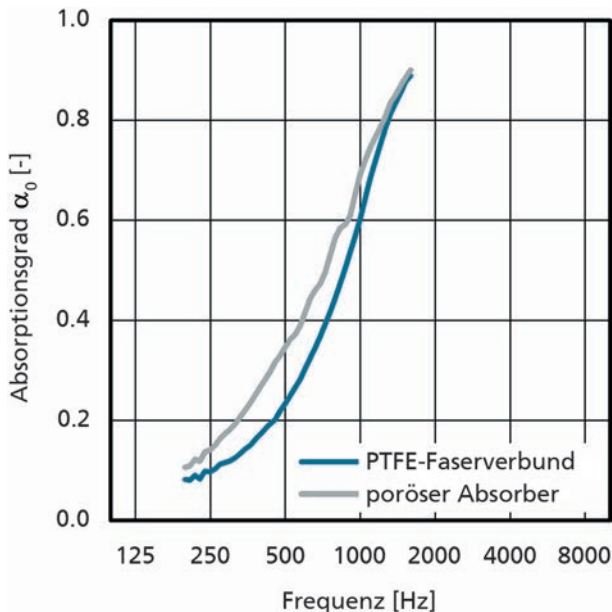


Bild 3. Im Kundtschen Rohr ermittelter Absorptionsgrad des PTFE-Faserverbunds im Vergleich zu einem handelsüblichen porösen Absorber gleicher Schichtdicke (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

Fig. 3. Absorption coefficients measured in a Kundt's tube of the PTFE fiber cluster compared to a standard porous absorber of equal layer thickness (Source: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

Vor derartigen Optimierungsschritten sind jedoch zunächst die mechanische Stabilität, chemische Beständigkeit sowie Feuchtigkeitsaufnahme und Benetzbarkeit zu berücksichtigen, die im Folgenden näher betrachtet werden.

Für eine gleichbleibende akustische Qualität ist die gleichmäßige Verteilung des Absorbermaterials notwendig. Dichteänderung durch Vibrationen im Einsatzfall sind zu vermeiden bzw. durch konstruktive Maßnahmen zu unterbinden. Wie sich zeigt, vernetzen sich die langen PTFE-Fasern im Faserverbund untereinander, wodurch sich eine elastische Schicht von Fasern einstellt, die nicht weiter verdichtet werden kann.

Für den angestrebten Einsatz in Heizungsanlagen wurden Kondensatproben von gas-, öl- und holzbefeuerten Anlagen untersucht. Die chemische Analyse ergab, dass das Absorbermaterial säure- und oxidationsbeständig sein muss. Kohlenwasserstoffpolymere wie Polyethylen und Polypropylen sind zwar vollkommen säurebeständig, aber im Vergleich zu polyfluorierten Polymeren weniger oxidationsbeständig. Ein weiterer Nachteil von Kohlenwasserstoffpolymeren liegt in deren niedrigem Erweichungspunkt. Die Verwendung von polyfluorierten Polymeren als Absorbermaterial ist daher anderen Polymeren vorzuziehen.

Ausgehend von den Analysen der Heizungskondensate wurden Modellkondensate zur Untersuchung der chemischen Belastbarkeit der Fasern hergestellt. Im Anschluss an eine Behandlung der PTFE-Fasern in diesen Modelllösungen bei ca. 100 °C für eine Woche wurden die Fasern abwechselnd in gesättigter Wasserdampf-atmosphäre gelagert bzw. getrocknet und Massenänderungen erfasst. Ein Vergleich mit unbehandelten PTFE-Fasern ermöglicht

Rückschlüsse auf Veränderung der Fasern durch die Behandlung mit den Modellkondensaten. Sowohl bei den unbehandelten Fasern als auch bei den mit dem Gas/Öl-Modellkondensat konditionierten Fasern ergaben sich nur minimale Massenänderungen zwischen Versuchsstart und Versuchsende sowie eine geringe Massenzunahme während der Lagerung in wasserdampfgesättigter Luft. Bei den im Modellkondensat der Holzbefuerung konditionierten Fasern konnte bei der Lagerung in gesättigter Wasserdampf-atmosphäre eine deutlichere Massenzunahme festgestellt werden. Der Einfluss des Wasserdampfes auf die Massenzunahme ließ sich auch optisch erkennen: Je länger die Fasern der Wasserdampf-atmosphäre ausgesetzt waren, desto größer und zahlreicher bildeten sich kleine Wassertropfen auf der Faseroberfläche. Beim Trocknen über Silicagel verschwanden die Wassertropfen, und das Gewicht lag wieder nahe bei der Ausgangsmasse. Hinweise auf eine großflächige Benetzung der Fasern im Anschluss an die Behandlung mit heißem Modellkondensat ergaben sich nicht.

## 5 Modellierung des Faserverbunds

Um akustische Aussagen über mögliche Strukturänderungen für einen Faserverbund zu erhalten, ist es vorteilhaft, diesen durch ein Absorbermodell zu beschreiben. Zur Berechnung des Absorptionsgrades faseriger Materialien mit geringer Porosität wird das Absorbermodell nach Johnson-Champoux-Allard [4, 5] angewandt. Dafür werden folgende Parameter benötigt: die Porosität, der Strömungswiderstand sowie die Tortuosität, viskose und thermische Längen, die die Form der Poren beschreiben. Mit Ausnahme der Porosität und des Strömungswiderstands sind diese Parameter messtechnisch nur schwer zugänglich und wurden daher anhand eines Materialmodells bestimmt. In dem Materialmodell erfolgt die Abbildung des Absorbers unter Vorgabe der geometrischen Struktur und Porosität. Zur Bestimmung der Porosität wird zunächst das Raumgewicht für den Faserverbund bestimmt, das mit 160 kg/m<sup>3</sup> ermittelt wurde und somit etwas über dem bei Heizungsanlagen angestrebten Raumgewicht der Mineralwolle liegt. Aus dem Raumgewicht und der Dichte der PTFE-Fasern ergibt sich für den Faserverbund eine Porosität von ca. 68%, der Anteil der Luftporen zwischen den Fasern. Übliche poröse Absorber für den akustischen Einsatz liegen im Bereich von über 98%. Für die Abbildung der geometrischen Struktur des Faserverbunds wurde die Verteilung der Faserdurchmesser bestimmt. Dazu wurden Proben des Faserverbunds unter Annahme eines runden Faserquerschnitts unter dem Mikroskop vermessen. Wie aus der Mikroskop-Aufnahme (Bild 4) ersichtlich, weist der Faserverbund eine sehr inhomogene Verteilung der Faserquerschnitte auf. Dies bestätigt auch die ermittelte Faserverteilung. Der größte Anteil der Faserdurchmesser liegt im Bereich von 0,1 mm bis 0,4 mm. Mehr als ein Viertel der Fasern streuen jedoch über einen weiten Bereich von 0,4 mm bis über 2 mm dicken Fasern.

Für die Abbildung des Materialmodells wird die Software GeoDict [6] herangezogen. Dazu wird ein kleines Volumenelement des Faserverbunds statistisch so aufbereitet, dass es sowohl die Verteilung der Faserdurchmesser als auch die Porosität repräsentiert. Die Modellstruktur des





Bild 4. Mikroskop-Aufnahme zur Ermittlung der Faserquerschnitte (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).  
Fig. 4. Microscopic picture used for the determination of fiber cross-sections (Source: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

PTFE-Faserverbunds ist in Bild 5 (grau) dargestellt. Durch Simulation des viskosen Strömungs- und Diffusionsfeldes werden dann die Parameter für das Absorbermodell ermittelt. Der farbige Teil von Bild 5 zeigt die durchströmte Materialstruktur, die Farben kennzeichnen die Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten (rot) weisen auf größere Hohlräume mit kleinen Strömungswiderständen hin (siehe z. B. Ecke rechts unten). Dies ist durch die inhomogene Verteilung der Faserquerschnitte bedingt. Hohlräume durch dicke Fasern werden nicht zwangsläufig mit dünnen Fasern gefüllt. Dadurch reduziert sich der Gesamtströmungswiderstand des Faserverbunds erheblich, was das Absorptionsvermögen beeinflusst. Normiert man den ermittelten Strömungswiderstand auf die Absorberdicke, erhält man den längenbezogenen Strömungswiderstand, der zur Berechnung der

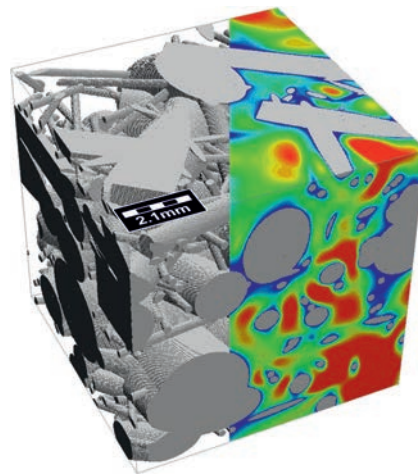


Bild 5. Volumenelement zur Berechnung der akustischen Kenngrößen. Links: Struktur des PTFE-Faserverbunds, rechts: Simulation des durchströmten Faserverbunds mit farbig kodierter Strömungsgeschwindigkeit (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

Fig. 5. Volume element for the computation of acoustic properties. Left: Structure of the PTFE cluster, right: simulation of the flow through the cluster with color-coded flow velocity (Source: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

Absorption verwendet wird. Für den Faserverbund liefert das Materialmodell einen längenbezogenen Strömungswiderstand im Bereich von 1,7 bis 2,6 kPa s/m<sup>2</sup>. Messungen des Faserverbunds ergeben einen Wert von 2 kPa s/m<sup>2</sup>, der somit im Bereich der Simulation liegt.

Abschließend erfolgt die Abstimmung der viskosen und thermischen Länge durch Vergleich von Modellrechnung und messtechnisch ermittelter Absorption. Diese Anpassung wurde anhand eines PTFE-Faserverbunds mit einer Schichtdicke von 30 mm durchgeführt. Beispielhaft dafür sind die in Bild 6 links aufgetragenen gemessenen

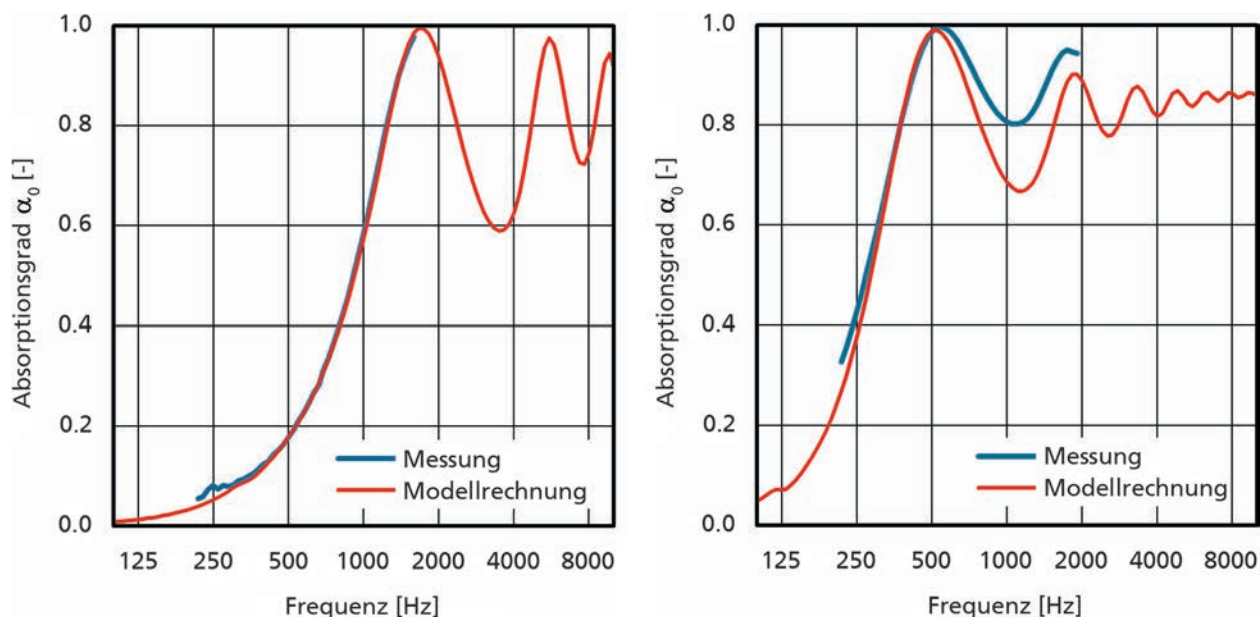


Bild 6. Vergleich der gemessenen und modellierten Absorptionsgrade von PTFE-Fasern mit einer Schichtdicke von  $d = 30$  mm (links) bzw.  $d = 80$  mm (rechts) (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

Fig. 6. Comparison of measured and modelled absorption coefficients of PTFE fibers with a layer thickness  $d = 30$  mm (left) or  $d = 80$  mm (right) (Source: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

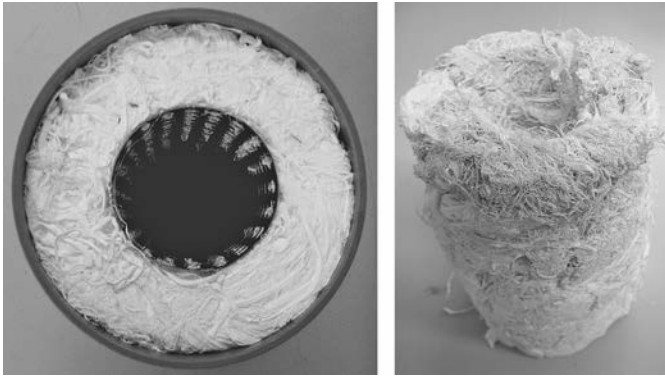


Bild 7. Blick in den geöffneten Rohrschalldämpfer (links) und Absorberring (rechts) (Quelle: Kutzner + Weber GmbH).  
Fig. 7. View to the opened tubular silencer (left) and absorber core (right) (Source: Kutzner + Weber GmbH).

und berechneten Absorptionsgrade. Nach dieser Anpassung zeigen Messung und Berechnung gute Übereinstimmung für diese Schichtdicke. Die damit fixierten Parameter werden in Bild 6 rechts auf eine 80 mm dicke Schicht angewandt. Mit geringen Abweichungen, vor allem im hochfrequenten Bereich, bildet das Absorbermodell den gemessenen Absorptionsgrad auch für eine Schichtdicke von 80 mm gut ab. Mit diesem Absorbermodell ist es nun möglich, die Absorption für beliebige Schichtdicken des PTFE-Faserverbunds abzuschätzen und damit z. B. die Auslegung von Schalldämpfern durchzuführen.

## 6 Schalldämpfung mit PTFE-Absorbieren

Für die praktische Umsetzung an einer Heizungsanlage wurde ein Rohrschalldämpfer mit PTFE-Absorber zur Bedämpfung mittlerer und hoher Frequenzen gefertigt. Angepasst an dort übliche Abgasquerschnitte wurden ein Anschlussdurchmesser von 50 mm, eine Schalldämpferlänge von 180 mm und eine Auskleidungsdicke von 25 mm gewählt. Bild 7 links zeigt das mit den PTFE-Fasern gefüllte Gehäuse des Rohrschalldämpfers und rechts den aus dem Schalldämpfergehäuse entfernten Absorberring. Deutlich ist die Vernetzung des Faserverbunds durch die langen Fasern zu erkennen, die zu einer gewissen Stabilität des Elements beitragen.

In einem abschließenden Praxistest wurde der Schalldämpfer an einer Heizungsanlage betrieben. Vor Beginn des Dauerversuches wurden die Schalldruckpegel der Heizungsanlage ohne und mit Schalldämpfer am Abgaskanal gemessen und daraus die Pegeldifferenz (Bild 8, vorher) bestimmt. Am Ende des Dauerversuches, bei dem mehr als 700 Liter Heizöl verbraucht wurden und ca. 160 Liter Kondensat angefallen sind, wurden die Schalldruckpegel mit und ohne Schalldämpfer erneut gemessen und die Pegeldifferenz (Bild 8, nachher) berechnet. Die ermittelten Pegelminderungen zu Beginn und am Ende des Dauerversuchs in Bild 8 weisen vergleichbare Verläufe auf mit geringen Änderungen bei der Resonanzspitze (1000 Hz) und höheren Frequenzen im Bereich von 4000 Hz. Zusätzlich wurde die Schalldämpfung nach der erweiterten Pieningschen Formel [7] abgeschätzt. Der hierzu benötigte Absorptionsgrad wurde mit dem Absorbermodell berechnet. Die Berechnung zeigt im gesamten Frequenzbereich einen

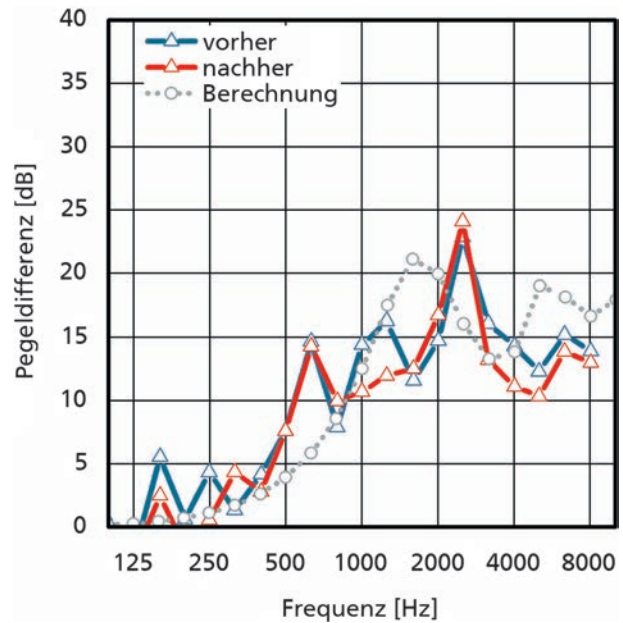


Bild 8. Links: An der Heizungsanlage ermittelte Pegelminderung zu Beginn (vorher) und nach Abschluss (nachher) des Dauertests im Vergleich zur Berechnung (Quelle: Kutzner + Weber GmbH).

Fig. 8. Left: Noise reduction measured at a heating system at the beginning (vorher) and after termination (nachher) of the endurance test in comparison to the computation (Source: Kutzner + Weber GmbH).

glatteren Verlauf, da resonante Einflüsse der realen Einbausituation nicht berücksichtigt sind. Der grundlegende Verlauf wird aber im Wesentlichen abgebildet. Nach dem Dauerversuch wurden die Fasern dem Schalldämpfergehäuse für eine Sichtprüfung entnommen. Bis auf geringfügige Verfärbungen war kein Einfluss des Kondensats auf die Fasern ersichtlich.

Um erste praktische Hinweise über die Möglichkeit der Reinigung eines PTFE-Faserverbunds zu erhalten, wurde eine Probe aus gepressten Fasern erstellt (Bild 9). Die Faserprobe wurde in einer handelsüblichen Waschmaschine im Kochwaschgang bei 90°C unter Zusatz von Reinigungsmittel gewaschen. Nach dem Trocknen wurden die Fasern aufgeschüttelt, wodurch sich ein Faserverbund ähnlich dem Ausgangszustand vor dem Verpressen der Fasern ergab (Bild 9). Der Laboransatz zeigt, dass die Fasern prinzipiell gereinigt und wiederverwendet werden können, entweder durch Spülen des Rohrschalldämpfers über einen Reinigungsanschluss, durch Reinigen von Kulissen mit einem Dampfstrahler oder durch externe Reinigung und erneute Aufbereitung zu einem Schalldämpferkern. Eine derartige Reinigbarkeit und damit Wiederverwendbarkeit ist mit keinem bekannten porösen Absorbermaterial umsetzbar.

## 7 Zusammenfassung

Aktuell besteht keine Möglichkeit zur Reinigung für Absorptionsschalldämpfer aus Mineralwolle. Das Bindemittel, das die Fasern zusammenhält, würde ausgewaschen, und damit würden die Mineralfasern noch schneller austreten. Bei aggressiven Abgasmedien ist das Bindemittel nicht dauerhaft chemisch resistent und die Dämpfungsleis-

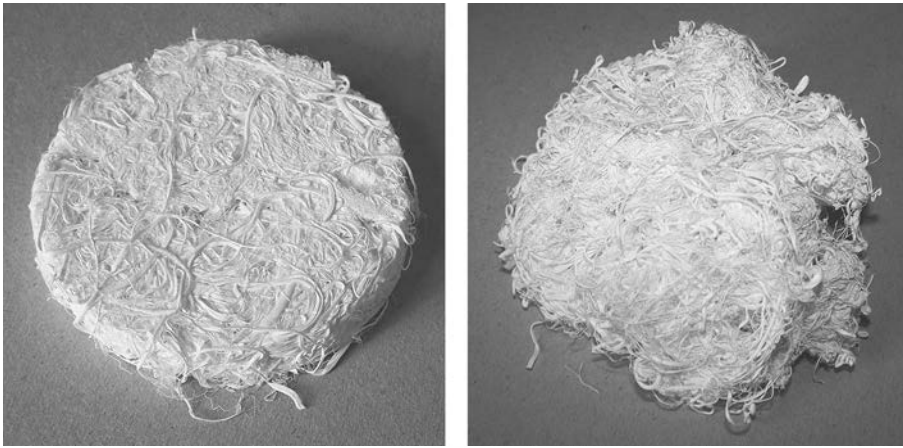


Bild 9. Fotos der PTFE-Fasern Links: Ausgangszustand vor der Reinigung. Rechts: nach der Reinigung (Quelle: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

Fig. 9. Photos of the PTFE fibers. Left: Initial condition before cleaning. Right: after the cleaning (Source: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP).

tion wird dadurch beeinträchtigt. Am Ende der Standzeit wird der Schalldämpfer entsorgt und die Mineralwolle als Sondermüll deponiert. Um eine lange Standzeit von Schalldämpfern zu ermöglichen, bedarf es Absorbermaterialien, die chemisch resistent und in gewissem Rahmen thermisch belastbar sind. Diese Bedingungen können durch den Einsatz der PTFE-Fasern erfüllt werden. Bedingt durch nichthaftende Oberflächen besteht die Möglichkeit zur Reinigung der Absorber. Ablagerungen während der Laufzeit könnten durch Spülen der Schalldämpfer entfernt werden (reinigbare Absorptionsschalldämpfer). Am Ende der Standzeit wird der Absorber entfernt, aufbereitet und erneut dem Produktionsprozess von Schalldämpfern zugeführt. Aufgrund der hohen Beständigkeit der PTFE-Fasern ist die Reinigung und Wiederverwertung der Schallabsorber sinnvoll, da auch mit PTFE-Produktionsabfällen ein kostenintensives Produkt eingesetzt wird. Durch die Zwischenverwertung als Absorbermaterial kann der Lebenszyklus von Abfallprodukten ökologisch erweitert werden, bevor diese einem weiteren Recycling-Prozess zugeführt werden.

Für eine großtechnisch industrielle Umsetzung bedarf es einer technologisch effektiven Faserherstellung. Denn über die Verwertung von Schalldämpfern für aggressive Abgasmedien hinaus weisen reinigbare und chemisch beständige Schallabsorber noch ein erhebliches Transferpotenzial in andere Marktbereiche wie die Medizintechnik und Lebensmittelindustrie auf.

### Danksagung

Wir bedanken uns bei der Bayerischen Forschungsförderung für die finanzielle Förderung des durchgeführten Forschungsvorhabens. Unser Dank gilt außerdem den beiden Industriepartnern, der Kutzner + Weber GmbH und KWO Dichtungstechnik GmbH, durch die dieses Forschungsvorhaben ermöglicht wurde.

### Literatur

- [1] Kutzner + Weber GmbH: Schalldämpfer für aggressive Abgasmedien, gefördert durch die Bayerische Forschungsförderung, Abschlussbericht, 2017.
- [2] Bay, K.; Kemmlein-Schiller, H.; Schantz, F.; Schmohl, A.; Brandstätt, P.; Fuchs, H. V.: Schalldämpfer für aggressive Abgasmedien. In: DAGA Kiel 2017.
- [3] Hintzer, K.; Beckers, H. G.: Neues PTFE-Recyclingverfahren erhält Materialeigenschaften vollständig. GAK Gummi Fasern Kunststoffe Jahrgang 64 (2011), Heft 12, S. 727.
- [4] Allard, J. F.; Henry, M.; Tizianel, J. et al.: Sound propagation in air-saturated random packings of beads. Journal of the Acoustical Society of America 104 (1998), Heft 4, S. 2004–2007.
- [5] Champoux, Y.; Allard, J.-F.: Dynamic tortuosity and bulk modulus in air-saturated porous media. Journal of Applied Physics 70 (1991), Heft 4, S. 1975.
- [6] GeoDict® Software. URL: <http://www.geodict.com>.
- [7] Brandstätt, P.; Fuchs, H. V.: Erweiterung der Pieningschen Formel für Schalldämpfer. Bautechnik 73 (1996), Heft 11, S. 796–798.

### Autoren dieses Beitrages:

Dr. Peter Brandstätt, peter.brandstaett@ibp.fraunhofer.de  
Dipl.-Phys. Karlheinz Bay, karlheinz.bay@ibp.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
Abteilung Akustik  
Nobelstr. 12  
70569 Stuttgart

Dr. Andreas Schmohl, andreas.schmohl@ibp.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
Abteilung Umwelt, Hygiene und Sensorik  
Fraunhoferstr. 10  
83626 Valley





## **Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP**

### **Stuttgart**

Postfach 80 04 69 – 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12 – 70569 Stuttgart

### **Holzkirchen**

Postfach 11 52 – 83601 Holzkirchen

Fraunhoferstraße 10 – 83626 Valley

**[www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)**