

# Einflussgrößen bei Messungen von Absorptionskoeffizienten in der Alpha-Kabine

Till Nowak<sup>1</sup>, Andreas Koll, Markus Strunk, Michael Hansen, Friederike Horand

<sup>1</sup> Carcoustics TechConsult GmbH, 51381 Leverkusen, E-Mail: tnowak@carcoustics.com

## Einleitung

Zur Charakterisierung von akustisch wirksamen Materialien, Auslegung von akustischen Sekundärmaßnahmen, Überprüfung von Lastenhefterfüllungen und Weiterentwicklung von akustischen Bauteilen ist in der Automobilindustrie häufig der Absorptionskoeffizient zu bestimmen. Hierzu werden große Hallräume mit langer Nachhallzeit benötigt, für die häufig kein ausreichender Platz vorhanden ist. Aus diesem Grund wird in vielen Fällen auf die Alpha-Kabine [1] zurückgegriffen. In diesem kleinen Hallraum lassen sich Absorptionskoeffizienten nicht zu dicker Materialien oberhalb von 400 Hz bestimmen [2]. Zur Messung der Absorptionskoeffizienten in der Alpha-Kabine gibt es eine Messvorschrift [3], in der die klimatischen Bedingungen, die Abmessungen der Probe, Vorkonditionierung der Probe, Verwendung eines Rahmens und Positionierung der Probe in der Kabine vorgeschrieben sind. Im industriellen Alltag können diese aber aus verschiedenen Gründen nicht immer eingehalten werden. So liegen die Materialien nicht immer in den exakten Abmessungen vor, sind die klimatischen Bedingungen nicht immer konstant, wird die Positionierung der Probe nicht exakt ausgeführt oder ist kein passender Rahmen vorhanden. Um die bei diesen Messungen auftretenden Schwankungen [vgl. 4] abzuschätzen, wurden mit Melaminharzschaum und PUR-Schaum Langzeitmessungen, Messungen mit vorheriger Lagerung bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit und Messungen mit Platten unterschiedlicher Geometrie (nur Melaminharz) durchgeführt. Außerdem wurden Rahmen aus Aluminium und Holz mit unterschiedlichen Höhen und Breiten verglichen, einige Messungen von zwei verschiedenen Personen durchgeführt und es wurde die Positionierung der Probe leicht variiert.

## Durchgeführte Messungen und Methodik

Drei Mal im Abstand von je zwei Monaten wurden immer dieselben Platten von zwei verschiedenen Personen je fünf Mal genau nach Vorschrift gemessen. Dies wurde mit zwei verschiedenen Materialien und je zwei Platten durchgeführt. Pro Leermessung mit dem verwendeten schmalen Aluminiumrahmen wurden jeweils zwei Messungen pro Platte durchgeführt, der Rahmen wurde neu positioniert und es wurden wieder zwei Messungen durchgeführt. Um die Materialschwankungen auszuklammern, wurden die Platten jeweils einzeln betrachtet und erst im letzten Schritt wurden der Absorptionskoeffizient, die Minimal- und die Maximalkurve und die Standardabweichung gemittelt.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden zwei Platten Melaminharzschaum und je eine Platte PUR-Schaum aus der unteren, der mittleren und der oberen Blockzone unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen gelagert und

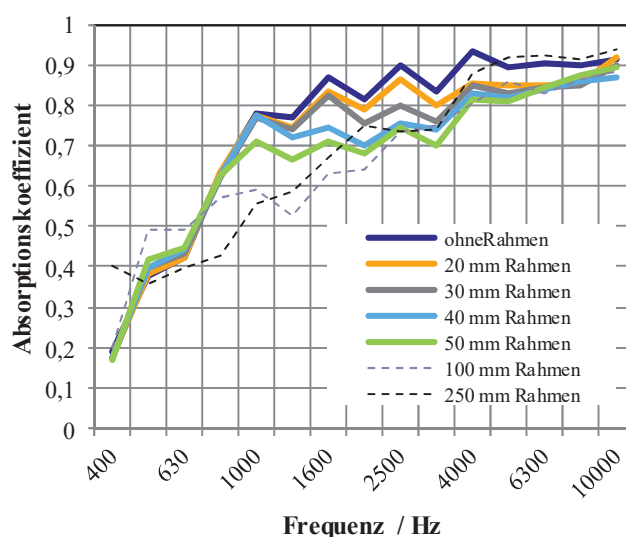
nach Lagerzeiten von 0, 6 und 24 Stunden im klimatisierten Messraum gemessen, um den Einfluss unzureichender Vorkonditionierung der Probe zu bestimmen.

Des Weiteren wurde Melaminharzschaum mit Plattengrößen von 0,95 m<sup>2</sup>, 1,2 m<sup>2</sup> und 1,4 m<sup>2</sup> und Geometrien von 1:1, 1:1,2 und 1:1,4 vermessen. Nach Messvorschrift [3] wurde bei diesen Messungen der Mittelpunkt aller Platten gleich positioniert. Um hierbei Einflüsse von Materialschwankungen abzuschätzen, wurden außerdem Platten aus den jeweiligen Randbereichen und der Mitte des verwendeten Schaumblocks vermessen. Da nicht für alle Plattendicken passende Metallrahmen verfügbar waren, wurden zusätzlich Rahmen aus Aluminium und Holz miteinander verglichen, um den Einfluss bei Verwendung von Holzrahmen zu quantifizieren.

Außerdem wurde der Einfluss leichter Positionierungsungenauigkeiten auf die Messschwankungen untersucht und es wurden verschiedene Materialien in der alten und der neuen Version der Alphakabine gemessen. Einige der Ergebnisse werden im Folgenden gezeigt.

## Ergebnisse

Um den Einfluss des Rahmens zu untersuchen, wurde eine 20 mm dicke Melaminharzschaumplatte mit verschiedenen hohen Holzrahmen gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

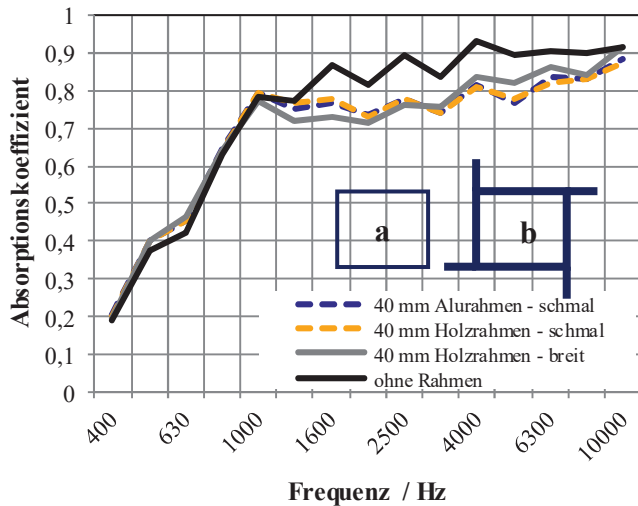


**Abbildung 1:** Messungen einer 20 mm Melaminharzschaumplatte mit verschiedenen hohen Holzrahmen. Die Leermessung erfolgte immer mit dem entsprechenden bei der Messung verwendeten Rahmen.

Es ist zu erkennen, dass der gemessene Absorptionskoeffizient mit zunehmender Rahmenhöhe immer weiter abnimmt, wobei ab doppelter Rahmenhöhe sehr starke

Abweichungen auftreten. Bei diesen Untersuchungen wurden Holzrahmen mit 15 mm Breite verwendet. Der Einfluss der Rahmengometrie auf das Messergebnis ist in Abbildung 2 dargestellt.

Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, hat das Material des Rahmens bei Verwendung eines schmalen Rahmens keinen Einfluss auf das Messergebnis. Bei Verwendung eines breiten Holzrahmens mit 15 mm Materialstärke der Geometrie b zeigen sich allerdings Einbrüche der Absorption unterhalb 2500 Hz und ein Anstieg der Absorption zu höheren Frequenzen.



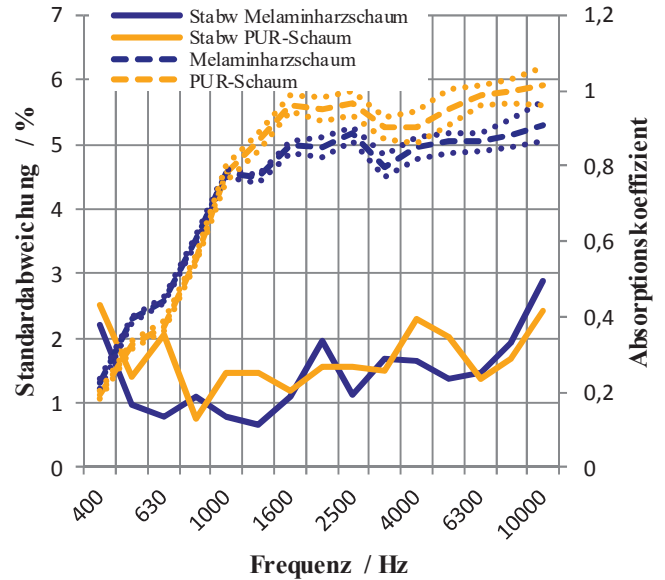
**Abbildung 2:** Vergleich verschiedener Rahmen bei der Messung einer 20 mm Melaminharzschaumplatte mit 40 mm Rahmen. Rahmen schmal mit 5 mm Materialstärke exakt passend zur Probe (Geometrie a), Universalrahmen breit mit 15 mm Materialstärke und auf verschiedene Probengrößen anpassbar (Geometrie b). Die grobe Form der Rahmen ist in der Graphik dargestellt.

Bei den Langzeitmessungen wurde im Folgenden ein schmaler Aluminiumrahmen der Geometrie b verwendet, um leichte Ungenauigkeiten des Materials ausgleichen zu können, die Messungen aber wenig zu beeinflussen. Diese Messungen in Abbildung 3 zeigen insgesamt eine maximale Schwankungsbreite von etwa 0,05 des Absorptionskoeffizienten. Die Schwankungsbreite ist bei PUR-Schaum etwas höher als bei Melaminharzschaum. Die Standardabweichung liegt bei beiden Materialien meistens unter zwei Prozent.

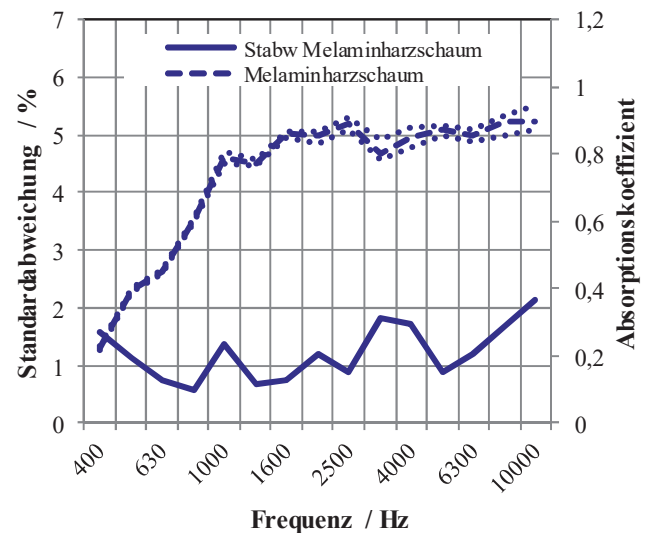
Die Schwankungsbreite der unter verschiedenen klimatischen Bedingungen gemessenen Proben, die für Melaminharzschaum in Abbildung 4 und für PUR-Schaum in Abbildung 5 gezeigt ist, ist geringer als die der Langzeitmessungen. Auch die Standardabweichung ist geringer und liegt im gesamten Messbereich sowohl bei Melaminharzschaum als auch bei PUR-Schaum bei unter zwei Prozent.

Da aufgrund der Anzahl der benötigten Proben bei den Geometrieuntersuchungen Proben aus verschiedenen Blockzonen eines Schaumblockes verwendet werden müssen, wurden Voruntersuchungen zu den Materialschwankungen innerhalb eines Blockes durchgeführt. Die Ergebnisse sind in

Abbildung 6 dargestellt. Die Verwendung von PUR-Schaum für diese Untersuchungen ist aufgrund der hohen Abweichungen innerhalb eines Blockes nicht möglich. Die Schwankungen bei Melaminharzschaum liegen innerhalb des Blockes bei unter zwei Prozent. Aus diesem Grund wurden alle Geometrieuntersuchungen anhand von Melaminharzschaum durchgeführt.



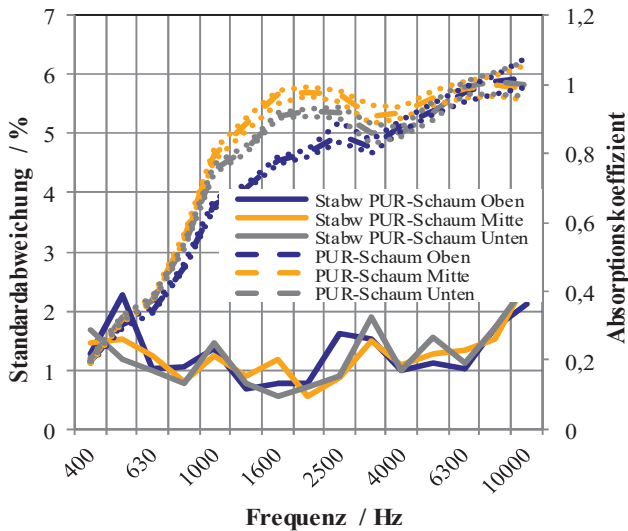
**Abbildung 3:** Langzeitmessungen von Melaminharzschaum und PUR-Schaum. Gepunktet sind jeweils die minimalen und maximalen Werte der Messungen dargestellt.



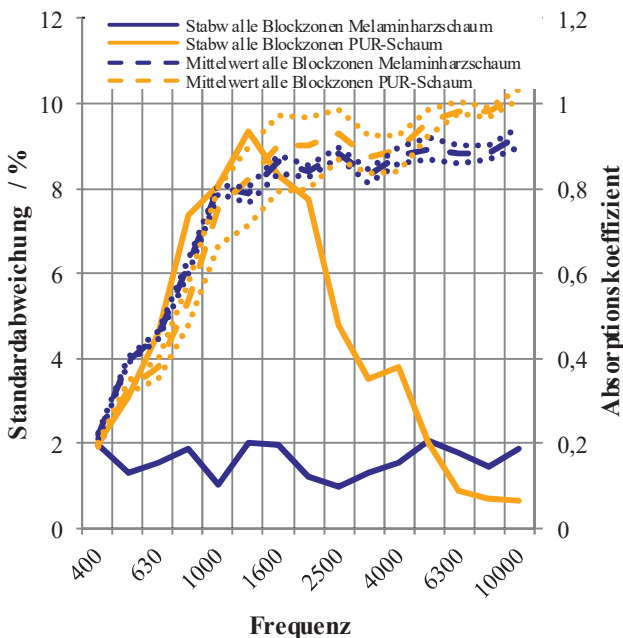
**Abbildung 4:** Messungen von Melaminharzschaum mit unterschiedlichen klimatischen Konditionierungen der Probe. Gepunktet sind jeweils die minimalen und maximalen Werte der Messungen dargestellt.

Bei den Messungen der Proben in unterschiedlichen Geometrien in Abbildung 7 ist zu erkennen, dass die Schwankungsbreite mit zunehmender Materialdicke zunimmt. Dies lässt sich auch anhand der Standardabweichung nachvollziehen. Bei der 100 mm dicken Probe liegen im tieffrequenten Bereich unterhalb von 800 Hz die Maximal- und die Minimalwerte um fast 0,2 auseinander.

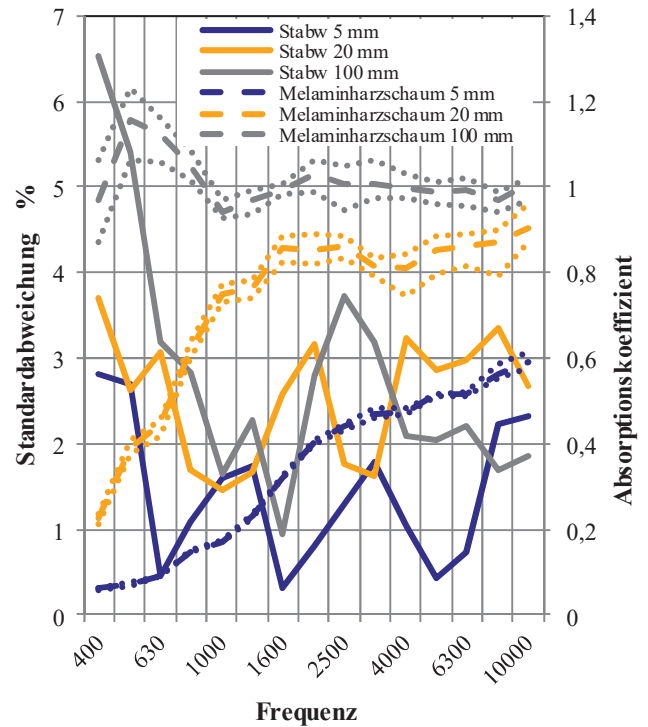
Auch die Standardabweichung liegt in diesem Bereich bei über fünf Prozent. Dass die Abweichungen bei einer dünnen Probe und somit einem schlechten Absorber deutlich geringer sind, lässt sich anhand des Grenzwertes „kein Absorber“ verdeutlichen. Gibt es keine Absorption, wird die Geometrie keine Rolle spielen. Umgekehrt beeinflusst ein guter Absorber das Schallfeld innerhalb der Alpha-Kabine recht stark.



**Abbildung 5:** Messungen von PUR-Schaum aus drei unterschiedlichen Blockzonen mit unterschiedlichen klimatischen Konditionierungen der Proben. Gepunktet sind jeweils die minimalen und maximalen Werte der Messungen dargestellt.

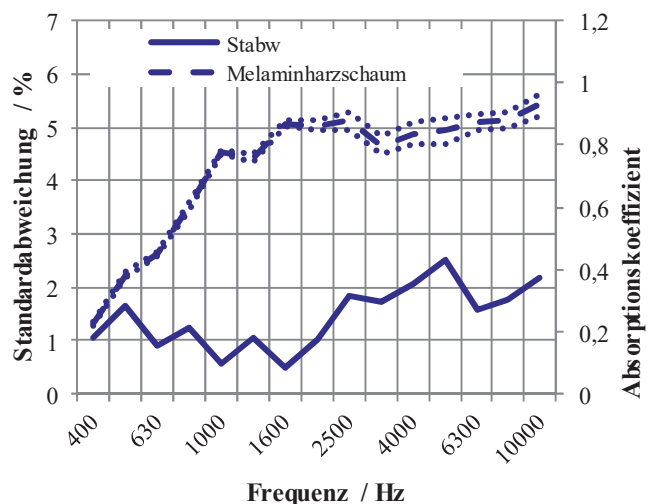


**Abbildung 6:** Messungen von 20 mm Platten Melaminharzschaum und PUR-Schaum aus unterschiedlichen Blockzonen zur Überprüfung der Materialschwankungen für die Geometrieuntersuchungen. Gepunktet sind jeweils die minimalen und maximalen Werte der Messungen dargestellt.



**Abbildung 7:** Messungen unterschiedlicher Geometrien. In jeder Dicke wurden 0,95 m<sup>2</sup>, 1,2 m<sup>2</sup> und 1,4 m<sup>2</sup> jeweils in drei unterschiedlichen Seitenverhältnissen gemessen. Gepunktet sind jeweils die minimalen und maximalen Werte der Messungen dargestellt.

Untersuchungen einer 20 mm Melaminharzschaumplatte bei leichten Verschiebungen um die vorgegebene Messposition herum sind in Abbildung 8 dargestellt und zeigen eine geringere Schwankungsbreite als die Messungen unterschiedlicher Geometrien. Es ist zu erkennen, dass die Standardabweichung bis 1600 Hz größtenteils unter einem Prozent liegt. Bei höheren Frequenzen schwankt sie um zwei Prozent.



**Abbildung 8:** Messungen einer 20 mm Melaminharzschaumplatte mit leichten Verschiebungen um die Normposition herum. Die Maximale Verschiebung betrug 4 cm in jede Richtung, für jede Messung wurde eine neue Leermessung durchgeführt. Gepunktet sind jeweils die minimalen und maximalen Werte der Messungen dargestellt.

Der Vergleich der älteren Version der Alpha-Kabine am Entwicklungsstandort Leverkusen mit der neuen Version am Standort USA, in der unter anderem die Ansteuerung der Lautsprecher geändert wurde [4], zeigt recht starke Abweichungen im mittleren und oberen Frequenzbereich, wie in Abbildung 9 zu erkennen ist. Die Messungen in der neuen Version zeigen insgesamt einen glatteren Verlauf.

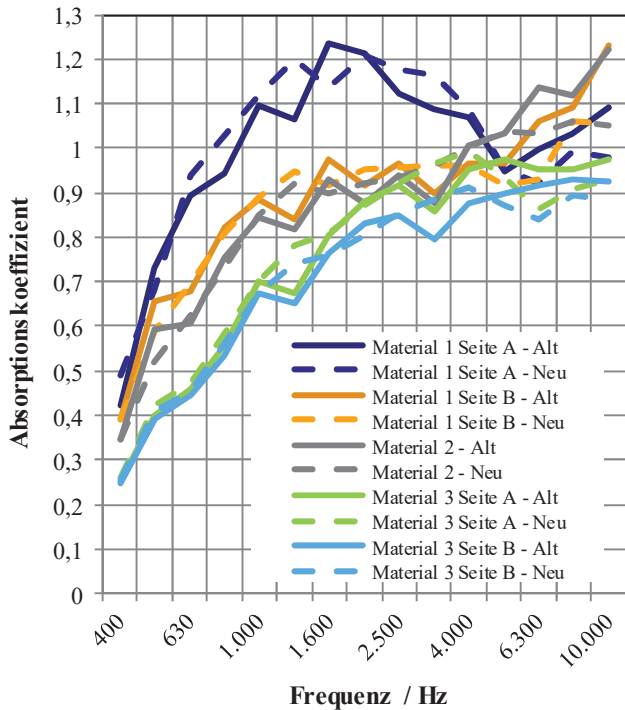


Abbildung 9: Messungen verschiedener Materialien in der alten und der neuen Version der Alpha-Kabine im Vergleich. Die Messungen erfolgten ohne Rahmen.

### Zusammenfassung und Ausblick

Um die Einflussfaktoren bei Messung des Absorptionskoeffizienten in der Alpha-Kabine zu bestimmen, wurden Messungen mit Variation verschiedener Parameter durchgeführt. Die nach Norm durchgeführten Langzeitmessungen geben hierbei die erreichbare Reproduzierbarkeit der Messungen mit etwa ein bis zwei Prozent Standardabweichung vor. Die durchschnittlichen Standardabweichungen der einzelnen Messserien sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Messungen bei unterschiedlicher Positionierung der Platten und bei verschiedenen klimatischen Bedingungen vorkonditionierten Platten liegen innerhalb dieser Genauigkeit. Die Messungen der Platten unterschiedlicher Geometrie und die Messungen mit verschiedenen Rahmen zeigen eine höhere Standardabweichung.

Tabelle 1: Standardabweichungen der einzelnen Messreihen in Prozent.

Messung	Melaminharzschaum			PUR-Schaum
	5 mm	20 mm	100 mm	20 mm
Geometrie	1,42	2,56	2,83	
Positionierung		1,44		
Klima		1,22		1,27
Langzeit		1,45		1,68
Rahmen		3,07		

Ebenfalls eine größere Abweichung ist bei Verwendung breiterer und zu hoher Rahmen zu erkennen, die sich bis zu einer 50 % größeren Rahmenhöhe als die Dicke der Probe nur bei mittleren Frequenzen auswirkt, bei doppelt so hohen Rahmen aber auch bei tieferen Frequenzen unterhalb 1000 Hz den Absorptionskoeffizienten absenkt. Durch die Verwendung schmaler Rahmen lässt sich dieser Effekt minimieren.

Auffällig sind auch die Abweichungen zwischen der alten und der neuen Version der Alpha-Kabine. Die Messungen mit der neuen Version zeigen sich wesentlich glatter und weisen weniger Einbrüche auf.

In Zukunft werden die Langzeitmessungen weiter fortgesetzt, Platten unterschiedlicher Geometrie werden bei unterschiedlicher Positionierung vermessen. So ist es im täglichen Messbetrieb sicherlich einfacher eine Ecke der Probe fest zu positionieren und nicht jedes Mal den Mittelpunkt der Probe positionieren zu müssen.

### Fazit

Messungen des Absorptionskoeffizienten in der Alpha-Kabine zeigen sich insgesamt sehr robust gegen falsche Vorbehandlung oder ungenaue Positionierung der Proben. Bei Messungen gut absorbierender Materialien unterschiedlicher Geometrien sollte aber mit einer größeren Ungenauigkeit der Messungen gerechnet werden. Dies betrifft natürlich auch die Messung von fertigen Bauteilen, bei denen die Geometrie durch unterschiedliche Ausrichtung oder Anordnung der gleichzeitig gemessenen Teile variiert werden kann. Bei der Messung von Plattenmaterial sollten möglichst zur Probe passende, relativ schmale und nicht zu hohe Rahmen verwendet werden.

### Literatur

- [1] Autoneum Management AG, Schlosstalstrasse 43, CH-8406 Winterthur
- [2] Duval, A.: Diffuse field absorption coefficient simulation of porous materials in small reverberant rooms: finite size and diffusivity issues. 10ème Congrès Français d'Acoustique (2010)
- [3] La Barre, R.: Gebrauchsanleitung zur  $\alpha$ -Kabine, Rev. 1.1, Rieter Automotive Systems (2005)
- [4] Bertolini, C.: On Some Important Practical Aspects Related to the Measurement of the Diffuse Field Absorption Coefficient in Small Reverberation Rooms. SAE International (2013)