

*PVB-Akustikfolie erhöht Wohnkomfort:*

# Verbesserte Geräuschkämpfung bei Mehrscheibensicherheitsglas

Dr. Uwe Keller

Die zunehmend besorgniserregende Belastung mit gesundheitsschädlichem Lärm in Ballungsräumen macht eine verbesserte Schallisolierung von Innenraumbereichen erforderlich. Bei der Entwicklung von Verbund-Sicherheitsglas (VSG) wurde die PVB-Folie, die zum Verbinden des Glases verwendet wird, in erster Linie auf Sicherheits- und Objektschutzeigenschaften hin optimiert. Außerdem bietet sie den zusätzlichen Vorteil einer effizienten Abschirmung von UV-Strahlung.

Dem akustischen Verhalten von VSG mit PVB-Folie wurde in der Vergangenheit keine besondere Aufmerksamkeit gewidmet, obwohl es meßbar dem akustischen Verhalten von monolithischem Glas überlegen ist.

Inzwischen wurden spezielle PVB-Folien wie „Trosifol Sound Control“ entwickelt, die sich aufgrund ihrer hervorragenden Schalldämpfungseigenschaften als Alternative zu den bisher verwendeten Gießharzprodukten bewähren.

Neben dem Einsatz von Akustik-PVB-Folien im Baubereich hat sich erwiesen, daß diese Folien auch im Automobilbereich zur weiteren Reduzierung des Geräuschpegels beitragen können. Hier stellt die Verwendung eines geeigneten Zwischenschichtmaterials die einzige Möglichkeit dar, die Front- und Seitenscheiben des Fahrzeugs mit verbesserten geräuschmindernden Eigenschaften auszustatten. Nichttransparente Dämmstoffe, wie sie erfolgreich zur Dämpfung von Karoserieschwingungen im Kraftfahrzeug eingesetzt werden, kommen für Verglasungsflächen naturgemäß nicht in Frage.

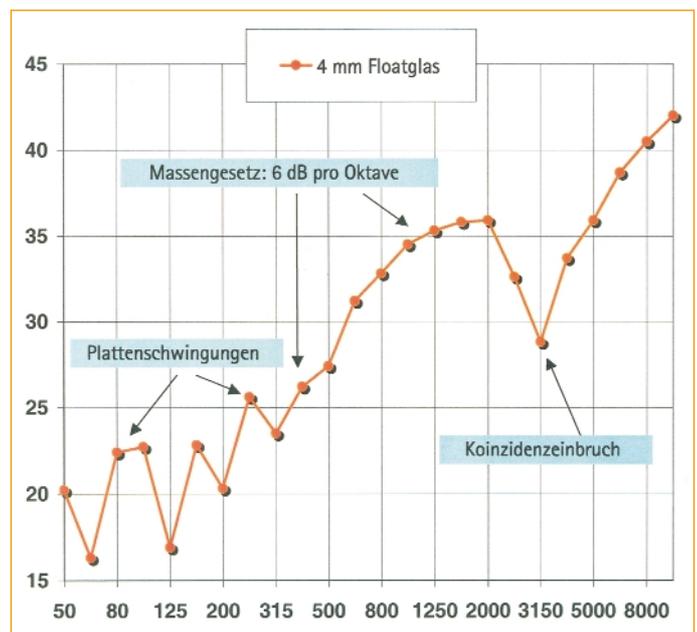
## Das menschliche Gehör

Das menschliche Gehör spricht auf ein breites Frequenzspektrum von ca. 20–20 000 Hz an. Dieses Leistungsvermögen ist um so eindrucksvoller, wenn man sich vor Augen führt, daß die empfangenen Schalldruckpegel in einen Bereich von nicht weniger als sechs Zehnerpotenzen variieren können. Hierbei ist jedoch anzumerken, daß unser Gehör auf verschiedene Tonhöhen nicht linear reagiert, d. h. es weist eine generell niedrigere Empfindlichkeit gegenüber tiefen Frequenzen und eine höhere Empfindlichkeit gegenüber hohen Tonlagen auf. Das Empfindlichkeitsmaximum liegt im Bereich zwischen 2000 und 5000 Hz. Als Faustregel läßt sich sagen, daß eine Schallpegelveränderung von 5 dB bereits eindeutig wahrnehmbar ist, während 10 dB einer Verdoppelung bzw. Halbierung der empfundenen Lautstärke entsprechen.

## Schalldämpfung

Das Prinzip, das der Schalldämpfung von Bauteilen zugrunde liegt, läßt sich grob durch das „Massengesetz der Akustik“ beschreiben, das besagt, daß die Verdoppelung des Gewichts (d. h. der Dicke oder Dichte des Bauteils) oder eine Verdoppelung der Frequenz eine Zunahme der Schalldämpfung um 6 dB bewirkt. Stellt man das im Labor gemessene Schalldämm-Maß eines solchen Bauteils als Funktion der Frequenz grafisch dar, ergibt sich ein Kurvenverlauf mit einer Steigung von 6 dB pro Oktave. In der Praxis beobachtet man jedoch deutliche Abweichungen von dieser idealisierten Kurvenform, wodurch die Geräuschminderung entsprechend in Mitleidenchaft gezogen wird. Die Ursache für diese negativen Abweichungen sind Resonanzerscheinungen, deren häufigste Form die so genannte „Wellenkoinzidenz“ ist. Diese ist durch eine

Bild 1: Die Schalldämpfungskurve von 4 mm-Floatglas



Kopplung nicht-vertikal einfallender Schallwellen mit Oberflächenwellen bedingt, die sich auf dem Bauteil ausbilden können. Die in Resonanz schwingende Trennfläche – in unserem Fall eine 4 mm starke Floatglas-scheibe – wird dadurch in einem relativ schmalen Frequenzbereich des Lärmspektrums für Schallwellen durchlässiger (Bild 1). Hierdurch kann sich unter bestimmten Bedingungen ein besonders störender akustischer Eindruck ergeben, da das Ohr nicht mehr den Originalton, sondern ein verzerrtes Bild desselben wahrnimmt, in dem eine Komponente überbetont ist.

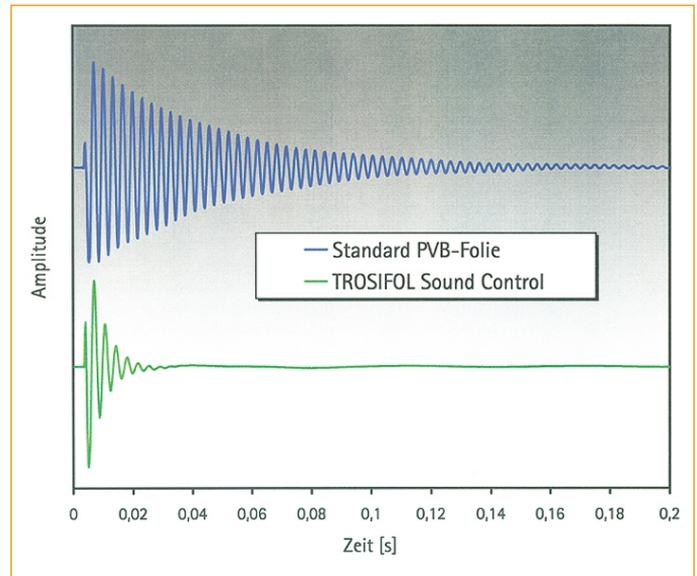
Eine zweite Form der Abweichung von der oben beschriebenen Gesetzmäßigkeit sind Plattenschwingungen, deren Wellenlänge in der Größenordnung der Scheibenabmessung liegt. Solche Schwingungen weisen entsprechend tiefe Frequenz auf.

Bei Glas läßt sich die Koinzidenzfrequenz in erster Näherung mit Hilfe der Formel  $f_c = 12\,000/d$  kalkulieren, wobei  $d$  die Glasdicke in mm ist. Wird eine Geräuschminderung durch Erhöhung der Glasdicke angestrebt, so verlagert sich diese Grenzfrequenz folglich vom hohen in den mittleren Frequenzbereich. Dadurch kann sich sogar noch eine Verschlechterung der Schalldämpfungseigenschaften in einem für den durchschnittlichen Außengeräuschpegel noch kritischeren Frequenzbereich ergeben.

### Schallmindernde Folie

Der wichtigste Beitrag zur Minderung der Schallübertragung durch PVB-Folie liegt in ihrer Fähigkeit, die Amplitude der Schwingungen, die bei Resonanz auftreten, deutlich zu reduzieren. Dieser Effekt basiert auf der mikroskopischen Scherbeanspruchung, der das Zwischenschichtmaterial jedesmal ausgesetzt wird, wenn ein Teil der Verbundscheibe beim Vibrieren aus seiner Gleichgewichtslage ausgelenkt wird. Wenn die gesamte Scheibe unter dem Einfluß des einfallenden Schalls in Schwingung gerät, bilden sich auf dem Glas Biegewellen aus, die einer abschnittswisen periodischen Krümmung des Verbundes entsprechen. Eine Analyse der Relativ-

*Bild 2: Das Abklingen freier Schwingungen eines Verbundglasstreifens der Größe 100 × 300 mm, bei einer Glasdicke von 2,1 mm*



bewegung von Glasscheibe und PVB-Folie ergibt, daß hierdurch in der Zwischenschicht Scherspannungen induziert werden. Da der Schermodul der Zwischenschicht jedoch eine erhebliche nichtelastische Komponente beinhaltet, die über den Verlustmodul quantifizierbar ist, bewirkt jede Verformung durch Scherkräfte eine Umwandlung mechanischer Energie in Wärme. Dieser Vorgang erklärt die schalldämpfende Wirkung von „Trosifol Sound Control“ innerhalb des Glasverbundes. Der schalldämpfende Effekt dieser Folie läßt sich leicht durch ein relativ einfaches Experiment verdeutlichen. Ein mit einem Beschleunigungssensor versehener VSG-Streifen, der auf zwei Schaumstoffauflagen frei schwingen kann, wird durch einen kurzen Schlag angeregt. Der Unterschied im Amplitudenabklingverhalten zwischen Standard-PVB-Folie und „Trosifol Sound Control“ ist in Bild 2 deutlich zu sehen.

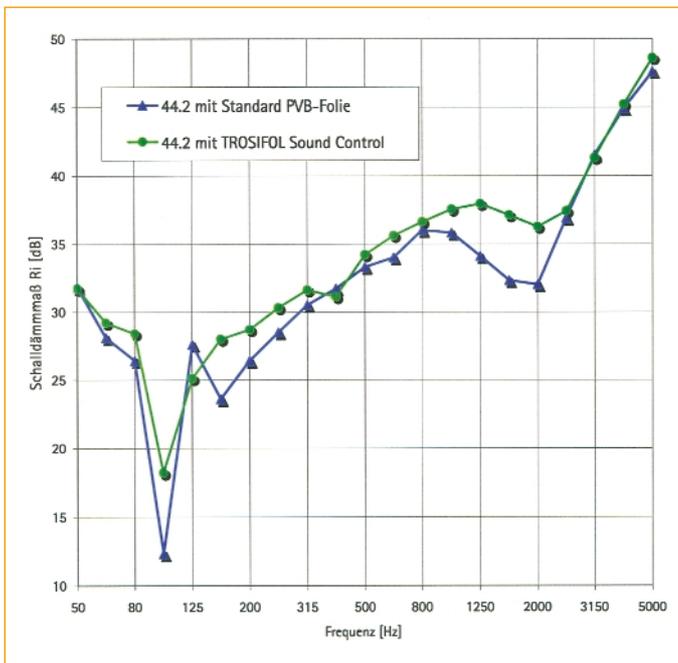
### Geräuschminderung

Es stellt sich nun die Frage wie sich die akustische Qualität von zwei verschiedenen Verglasungen beurteilen läßt. Da das menschliche Ohr ebenso subjektiv wahrnimmt wie unsere anderen Sinnesorgane, sind Labormessungen erforderlich, um eine objektive Bewertung akustischer Verglasungen anzustellen.

In der Akustik genügen bereits kleine Störeinflüsse, um das gemessene Signal erheblich zu beeinträchtigen.

Deshalb müssen die standardisierten Laborverfahren zur Datenerfassung exakt eingehalten werden, um aussagekräftige Daten zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden vor kurzem internationale Normen, wie z. B. die ISO 140 (Festlegung u. a. der Probengröße, Signalerfassung und Labor-konfiguration) und die ISO 717 (Datenauswertung), eingeführt.

In der Praxis wird die zu prüfende Scheibe in einer Öffnung einer ansonsten stark schalldämmenden Wand montiert. Diese Wand trennt den Raum, in dem sich als Schallquelle ein Lautsprecher befindet, von dem Empfängerraum, wo sich ein empfindliches Mikrofon befindet. Während nun der Lautsprecher Geräusche innerhalb eines breiten Frequenzbereiches erzeugt, wird der Schallpegel im Empfangsraum in schmalen Frequenzbändern gemittelt, und mit dem Schallpegel im Senderaum verglichen. Die Frequenzbänder sind dabei innerhalb des bauakustisch relevanten Frequenzbereiches von 50–5000 Hz in Terzabständen angeordnet. Für jedes einzelne Terzband wird dann die Schallpegeldifferenz in das Schalldämmmaß mit der Einheit Dezibel [dB] umgerechnet. Trägt man dieses als Funktion der Frequenz in einer Grafik auf, so ergeben sich Schalldämmkurven, die eine detaillierte Analyse und Bewertung des akusti-



*Bild 3:  
Das akustische  
Verhalten von  
44.2-VSG in  
Abhängigkeit der  
verwendeten  
PVB-Folie*

schen Verhaltens jeder Verglasung erlauben. Bild 3 zeigt die Ergebnisse für ein VSG (2 × 4 mm Glas mit 0,76 mm PVB-Folie). Das unterschiedliche Verhalten im Koinzidenzbereich ist deutlich erkennbar – „Trosifol Sound Control“ bewirkt eine wirksamere Unterdrückung der Koinzidenzresonanz sowie der Plattenschwingungen bei Frequenzen unterhalb 315 Hz.

#### *Anwendungen im Kfz-Bereich*

Für Anwendungen im Automobilbereich gilt, daß der Anteil der Glasflächen an der Fahrzeugoberfläche aus Gründen der Ästhetik (größere Helligkeit) und Fahrzeugsicherheit (Rundumsicht) ständig zunimmt.

Die gezielte Minderung von Strukturschwingungen großer Glasflächen ist mit Schwierigkeiten verbunden, da die Verglasung eines Fahrzeugs

dessen einziger Bestandteil ist, an dem sich die übertragenen Geräusche (Luft- oder Körperschall) nicht durch gängige undurchsichtige Dämm-Massen bzw. durch mechanische Entkopplung reduzieren lassen. Etwa wie bei der Windschutzscheibe, die im ungünstigen Fall ein Dröhngeräusch in die Fahrgastzelle abstrahlen kann, wenn niederfrequente Schwingungen des Motors eine Fundamentalschwingung in der Scheibe erregen. Während normales PVB zur Dämpfung niederfrequenter Schwingungen nur wenig beiträgt, ist Akustik-PVB-Folie hierzu sehr wohl imstande. Bei einer Betriebstemperatur von 20 °C und etwa 280 Hz wird im ersten Fall eine Dämpfung von weniger als 2 % erreicht. Dagegen lassen sich im zweiten Fall – bei entsprechend modifizierten Materialien – sehr hohe Dämpfungswerte von bis zu 35 % erzielen.

#### *Isolierglas*

Da Außenverglasungen wärmeisolierend sein müssen, fällt die Wahl in der Regel zuerst auf ein Doppelglas. Heute weiß man jedoch, daß die Schallübertragung eines Doppelglases aufgrund von Resonanzphänomenen zwischen den beiden Scheiben oft noch ausgeprägter als bei einem Einscheibenglas identischer Glasgesamtmasse ausfällt. Während ein Isolierglasfenster aus einer oder zwei Scheiben mit Standard-PVB-Folie relativ wenig zur Reduzierung von Resonanzfrequenzen beiträgt, werden diese durch Akustik-PVB wirksam gedämpft – und erhöht den akustischen Komfort im Gebäudeinneren.

#### *Höhere akustische Qualität*

Während in der Vergangenheit die bewerteten Schalldämm-Maße von 40 dB oder mehr nur mit Gießharzen in Verbindung mit einer Doppelverglasung zu erzielen waren, stehen der Glasindustrie heute PVB-Folien mit vergleichbaren Dämpfungseigenschaften zur Verfügung. Die Nachteile des Gießharzes, wie ein langwieriger Einzelfertigungsprozeß, schlechte optische Eigenschaften der Scheiben infolge Dicken-schwankungen der Zwischenschicht sowie unzureichende Sicherheitseigenschaften sind durch den Einsatz von z. B. „Trosifol Sound Control“ vermeidbar. Dieses Produkt erhöht nicht nur die akustische Qualität der Scheibe, sondern auch die Qualitäts- und Sicherheitseigenschaften des heute üblichen PVBs, das sämtliche Anforderungen der Qualitätsnorm EN 12 543 erfüllt. □

*Dr. Uwe Keller, HT Troplast AG,  
Entwicklung „Trosifol“*