

Akustisches Verhalten von Kleb- und Dichtstoffen

Lutz Weber, Sven Öhler, Bernd Kaltbeitzel

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart, E-Mail: lutz.weber@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Kleb- und Dichtstoffe kommen in fast allen Bereichen des Bauwesens zum Einsatz. Neben ihren sonstigen Aufgaben erfüllen sie auch im baulichen Schallschutz eine wichtige Funktion. Dies gilt vor allem dann, wenn die Schallübertragung von der Quelle ins Bauwerk vorwiegend durch Körperschall erfolgt, wie dies z. B. bei haustechnischen Anlagen und Installationen häufig der Fall ist. Da über das akustische Verhalten von Kleb- und Dichtstoffen bislang nur wenig bekannt ist, wurde es in einem Forschungsvorhaben näher untersucht [1].

Wegen ihrer Bedeutung in der baulichen Praxis konzentrierten sich die Untersuchungen vor allem auf körperschallisolierende Fugendichtungen im Sanitärbereich. Dabei wurden zunächst die maßgebenden akustischen Einflussgrößen bestimmt und ein semiempirisches Vorhersagemodell für die Schallübertragung entwickelt. Unter Verwendung dieses Modells wurden anschließend Kriterien zur akustischen Optimierung von Fugendichtungen abgeleitet sowie - in Zusammenarbeit mit einem Hersteller - Dichtstoffe mit verbesserten elastischen Eigenschaften untersucht.

Einfügungsdämmung

Der wichtigste akustische Kennwert für Fugendichtungen ist die Einfügungsdämmung D_e , die als Verminderung der Körperschallübertragung durch die elastische Dichtung gegenüber einer starren Verbindung zwischen Quelle und Bauwerk definiert ist. In Pegelschreibweise ergibt sich hierfür folgender Ausdruck:

$$D_e = L_{\text{starr}} - L_{\text{elast.}}, \quad (1)$$

wobei L den resultierenden Körperschallpegel der angeregten Struktur bezeichnet.

Da die Einfügungsdämmung von der Frequenz abhängt, wird als akustischer Vergleichsmaßstab eine geeignete Einzahlangebe benötigt. Die hierzu entwickelte Angabe wird im folgenden als bewertete Einfügungsdämmung $D_{e,w}$ bezeichnet. Sie gibt an, welche Minderung der A-Schallpegel eines typischen Sanitärgeräuschs durch die Fugendichtung erfährt. Das verwendete Geräusch entspricht dem in Abb. 1 dargestellten Referenzspektrum L_{ref} . Zur Berechnung von $D_{e,w}$ wird D_e terzweise von L_{ref} subtrahiert und anschließend die Differenz der zugehörigen Gesamtpegel bestimmt:

$$D_{e,w} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{18} 10^{L_{\text{ref},i}/10 \text{ dB}} \right) \text{ dB A} ; \quad (2)$$

$$- 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{18} 10^{(L_{\text{ref},i} - D_{e,i})/10 \text{ dB}} \right) \text{ dB A} ;$$

Die energetische Addition der Terzwerte erfolgt dabei im Frequenzbereich von 100 - 5000 Hz.

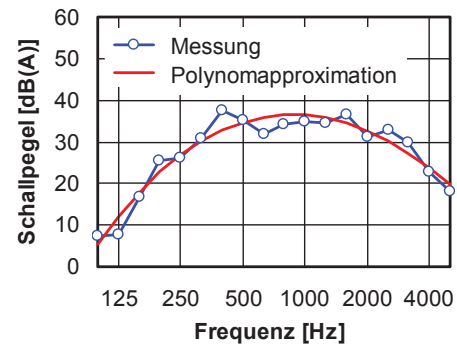


Abbildung 1: Referenzspektrum L_{ref} zur Berechnung der bewerteten Einfügungsdämmung $D_{e,w}$. Geglätteter Frequenzverlauf eines typischen Sanitärgeräuschs (Schallpegel eines auf die Wannenoberfläche auftreffenden Brausestrahls im Empfangsraum bei starrem Einbau der Wanne).

Messaufbau zur Bestimmung der Einfügungsdämmung

Da die Bauteile beiderseits der Fuge erheblichen Einfluss auf die Einfügungsdämmung von Fugendichtungen haben, erfolgten die Messungen an einem praxisnahen Aufbau, der dem Rand einer handelsüblichen Badewanne aus Stahl (Fuge zwischen Wannensrand und Wand) nachempfunden war [2]. Als Anregungsquelle diente ein in einem Schaumstoffblock elastisch gelagerter Inertialshaker. Die Empfangsstruktur bildete ein gleichfalls elastisch gelagerter Betonblock, der so ausgelegt war, dass er im untersuchten Frequenzbereich keine Eigenschwingungen aufwies. Zwischen Shaker und Betonblock befand sich der Probenhalter mit der untersuchten Fugendichtung (Fugenlänge ca. 45 cm). Gemessen wurden die in den Probenhalter eingeleitete Kraft sowie die resultierende Schnelle auf der Rückseite des Steins. Der verwendete Messaufbau ist in Abb. 2 dargestellt.

Da die Fugendichtungen nach der Herstellung zunächst etwa eine Woche aushärten müssen, bevor die Messung erfolgen kann, war der Probenhalter so konstruiert, dass er sich mit samt der Dichtung komplett aus dem Messaufbau entnehmen ließ. Dies ermöglichte es, mehrere Fugendichtungen gleichzeitig herzustellen und die Messungen - unter Verwendung mehrerer Probenhalter - mit einer einheitlichen Aushärte-dauer durchzuführen.

Um einfache geometrische Randbedingungen für die erforderlichen Berechnungen zu schaffen, wurden die untersuchten Fugendichtungen so hergestellt, dass sie einen annähernd rechteckigen Querschnitt aufwiesen. Dies erfolgte mittels eines - gegen Anhaftung des Probenmaterials beschichteten - Abstandhalters, der in die Fuge eingebracht

und nach Aushärten des Dichtstoffs wieder entfernt wurde. Höhe und Breite der Dichtung ließen sich unabhängig voneinander in einem Bereich von etwa 2 mm bis 30 mm einstellen (siehe Abb. 3).



Abbildung 2: Messaufbau zur praxisnahen Bestimmung der Einfügungsdämmung von Fugendichtungen. Im oberen Bild ist der gesamte Aufbau in der Vorderansicht zu sehen (von oben nach unten: Betonblock, Probenhalter mit Probe und Shaker im Schaumstoffblock). Das untere Bild zeigt einen Ausschnitt des Aufbaus in seitlicher Ansicht.

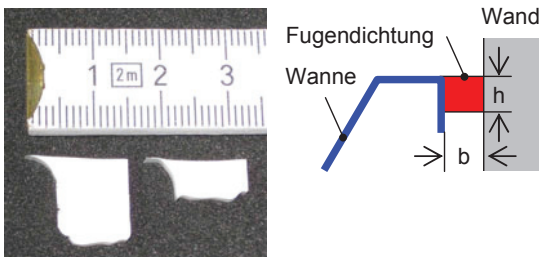


Abbildung 3: Foto mit zwei Beispielen für die untersuchten Fugendichtungen. Rechts im Bild sind die verwendeten geometrischen Angaben (Fugenbreite b und Fugenhöhe h) veranschaulicht.

Messung und Rechnung

Obgleich sich die Messergebnisse für verschiedene Fugendichtungen zum Teil stark voneinander unterscheiden, ist in allen Fällen ein ähnlicher Frequenzverlauf erkennbar. Dies ermöglicht es, die Messkurven einheitlich mit dem - leicht modifizierten - Modell eines bedämpften Masse-Feder-Systems zu beschreiben. Wie aus dem in Abb. 4 dargestellten Beispiel hervorgeht, ist die Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung im Allgemeinen recht gut.

Als Eingangswerte für die Berechnung dienen der dynamische Elastizitätsmodul und der Verlustfaktor des Dichtstoffs. Die Fugegeometrie wird erst in einem späteren Stadium in die Berechnung einbezogen (siehe unten). Die in Abb. 4 dargestellten Ergebnisse wurden für eine vereinfachte geometrische Situation mit einem quadratischen Fugenquerschnitt von 10 mm x 10 mm ermittelt.

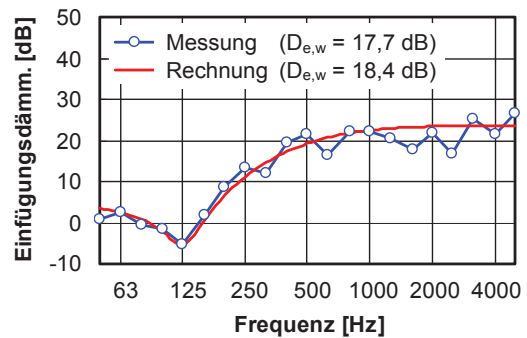


Abbildung 4: Einfügungsdämmung einer Fugendichtung aus Silikon mit einem Querschnitt von 10 mm x 10 mm. Vergleich zwischen Messung und Rechnung. Die Berechnung erfolgte mit dem modifizierten Modell eines bedämpften Masse-Feder-Systems.

Einfluss der Materialeigenschaften

Wie schon frühere Untersuchungen zeigen, hängt die Körperschallübertragung von Fugendichtungen in starkem Maße von den Materialeigenschaften des Dichtstoffs ab [3]. Mit Hilfe des oben erwähnten Berechnungsmodells lässt sich der Zusammenhang auf einfache Weise veranschaulichen (siehe Abb. 5).

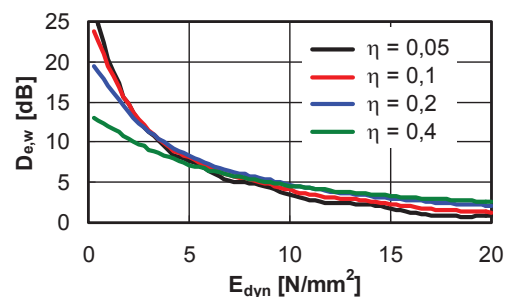


Abbildung 5: Bewertete Einfügungsdämmung $D_{e,w}$ in Abhängigkeit vom dynamischen Elastizitätsmodul des Dichtstoffs E_{dyn} . Die Berechnung erfolgte exemplarisch für eine Fugendichtung mit einem Querschnitt von 10 mm x 10 mm. Die einzelnen Kurven wurden für unterschiedliche Verlustfaktoren η ermittelt.

Aus den in Abb. 5 dargestellten Ergebnissen ergeben sich folgende Aussagen:

- Die bewertete Einfügungsdämmung von elastischen Fugendichtungen wird in erster Linie vom Elastizitätsmodul des Dichtstoffs bestimmt.
- Für übliche Dichtstoffe, wie z. B. Silikon, die einen Verlustfaktor in der Größenordnung von $\eta \approx 0,1$ aufweisen, ist der Einfluss der inneren Dämpfung auf die Einfügungsdämmung weitgehend vernachlässigbar.
- Der praktische Wertebereich für die bewertete Einfügungsdämmung beträgt etwa $2 \text{ dB} \leq D_{e,w} \leq 20 \text{ dB}$. Eine wirksame Körperschallisolierung erfordert Dichtstoffe mit einem Elastizitätsmodul von $E_{dyn} \leq 2 \text{ N/mm}^2$.

Einfluss der Fugegeometrie

Wie aus den durchgeführten Messungen hervorgeht, ist bei Vergrößerung der Fugenbreite b erwartungsgemäß eine Zu-

nahme, bei Vergrößerung der Fugenhöhe h hingegen eine Abnahme der Einfügungsdämmung zu verzeichnen. Fasst man beide Parameter gemäß

$$G = \frac{h}{b} \left(1 + \frac{h}{2b} + \frac{h^2}{4b^2} \right) \quad (3)$$

in einem elastischen Geometriefaktor G zusammen, so ergibt sich zwischen der bewerteten Einfügungsdämmung $D_{e,w}$ und dem Geometriefaktor in logarithmischem Maßstab ein linearer Zusammenhang. Dies ermöglicht die Ableitung einer Korrektur, die zu $D_{e,w}$ addiert wird und die Berechnung der Schallübertragung für beliebige (annähernd rechteckige) Fugenquerschnitte ermöglicht. Die Korrektur ist in Abb. 6 dargestellt. Sie hängt lediglich vom Verhältnis zwischen Fugenhöhe h und Fugenbreite b ab und kann in der Praxis Werte im Bereich von etwa ± 7 dB annehmen.

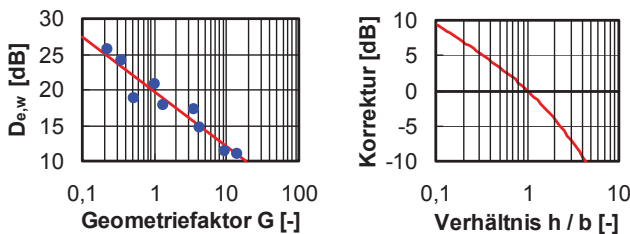


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen der bewerteten Einfügungsdämmung $D_{e,w}$ und dem elastischen Geometriefaktor G (links) und daraus abgeleitete Korrektur zur Berücksichtigung der Fugegeometrie bei der Berechnung der Einfügungsdämmung (rechts).

Einfluss von Fugenbändern

Elastische Fugenbänder stellen ein nützliches Hilfsmittel für eine akustisch günstige Formgebung von Fugendichtungen dar (siehe Abb. 7). Da sie in der Fuge verbleiben, stellt sich jedoch die Frage, ob sie möglicherweise einen zusätzlichen Schallübertragungsweg bilden.

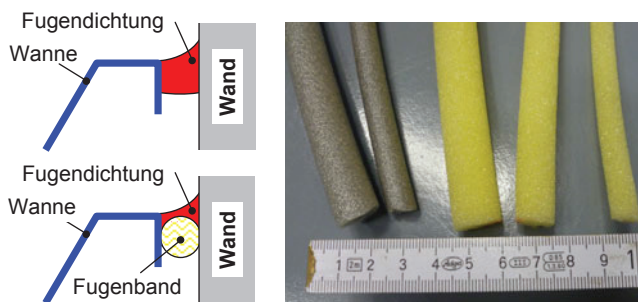


Abbildung 7: Fugendichtung mit und ohne elastisches Fugenband (links) sowie handelsübliche Fugenbänder aus unterschiedlichem Schaumstoff und mit verschiedenem Durchmesser (rechts).

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass die Schallübertragung von Fugenbändern bei fachgerechtem Einbau in der Praxis normalerweise zu vernachlässigen ist. Werden die Bänder hingegen zu stark komprimiert, kann sich die Einfügungsdämmung der Dichtung um bis zu etwa 3 dB vermindern.

Messaufbau zur Bestimmung der Materialeigenschaften

Der wichtigste Ansatzpunkt zur akustischen Optimierung von Fugendichtungen sind die Materialeigenschaften des Dichtstoffs. Da hierzu von den Herstellern keine geeigneten Angaben verfügbar sind, wurde eine Messvorrichtung aufgebaut, mit der sich der dynamische Elastizitätsmodul und der Verlustfaktor von Dichtstoffen frequenzabhängig bestimmen lässt [4]. Die Vorrichtung ist in Abb. 8 dargestellt.

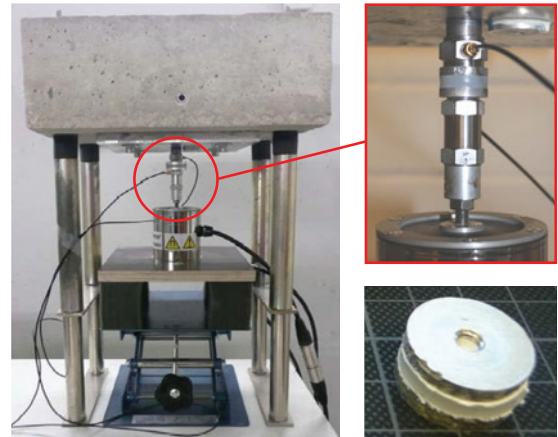


Abbildung 8: Messvorrichtung zur Bestimmung der elastischen Materialeigenschaften von Dichtstoffen. Neben einer Übersichtsansicht (links) sind außerdem der zentrale Teil der Anordnung (rechts oben) sowie eine Probe mit beidseitig aufgeklebten Probenhaltern (rechts unten) dargestellt.

Die zwischen zwei Aluminiumscheiben eingeklebte Probe (Dicke $l = 5$ mm, Durchmesser $d = 20$ mm) wird von unten über einen Beschleunigungsaufnehmer mit einem Inertialshaker angeregt. Auf der Oberseite ist die Probe über einen Kraftaufnehmer an einem starren Gegenlager befestigt. Die Anregung erfolgt über einen Gleitsinus, gemessen werden die Beschleunigung a , die Kraft F sowie die Phasendifferenz α zwischen den beiden Signalen. Aus den Messwerten lassen sich auf einfache Weise der dynamische Elastizitätsmodul E_{dyn} und der Verlustfaktor η des Probenmaterials bestimmen:

$$E_{dyn} = \frac{F / [\pi d^2 / 4]}{(\Delta l / l)} q^{-1} \quad \text{mit} \quad \Delta l = \frac{a}{2 \pi f^2} \quad (4)$$

$$\eta = \tan(\alpha)$$

Der geometrische Formfaktor q in obiger Gleichung berücksichtigt die Versteifung der Probe durch die an den Befestigungsstellen unterbundene Querkontraktion [5].

Elastizitätsmodul und Verlustfaktor

Wie aus den in Abb. 9 exemplarisch dargestellten Messergebnissen hervorgeht, ist bei allen Dichtstoffen mit zunehmender Frequenz ein Anstieg des dynamischen Elastizitätsmoduls zu verzeichnen. Bei handelsüblichen Materialien auf der Basis von Silikon ist der Anstieg jedoch im Allgemeinen so gering, dass für akustische Berechnungen mit hinreichender Genauigkeit ein frequenzgemittelter Wert herangezogen

werden kann. Der Verlustfaktor der Dichtstoffe ist - abgesehen von Acryl - annähernd frequenzunabhängig.

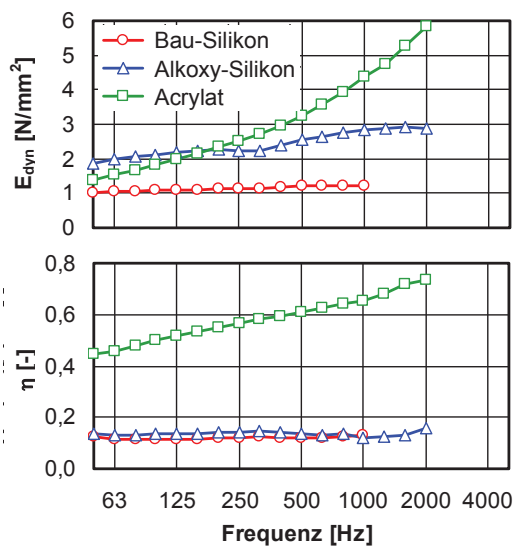


Abbildung 9: Dynamischer Elastizitätsmodul E_{dyn} (oben) und Verlustfaktor η (unten) am Beispiel von drei typischen Dichtstoffproben.

Ein Überblick über den mittleren dynamischen Elastizitätsmodul von zwanzig verschiedenen Dichtstoffen ist in Abb. 10 dargestellt. Bei den Proben Nr. 1 - 19 handelt es sich um neu entwickelte Produkte. Der Probe Nr. 20 (Referenzprodukt) repräsentiert ein handelsübliches Sanitär silikon mit verhältnismäßig niedrigem Elastizitätsmodul.

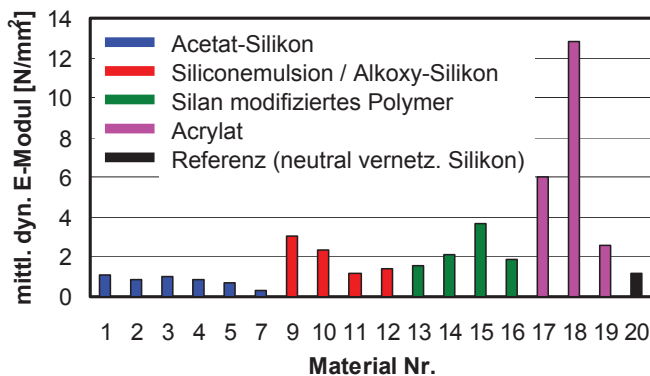


Abbildung 10: Frequenzgemittelter dynamischer Elastizitätsmodul von zwanzig verschiedenen Dichtstoffen.

Wie den dargestellten Ergebnissen zu entnehmen ist, lässt sich der Elastizitätsmodul handelsüblicher Dichtstoffe durch geeignete Modifikation der chemischen Zusammensetzung beträchtlich herabsetzen. Der Elastizitätsmodul des besten untersuchten Materials liegt mit $0,35 \text{ N/mm}^2$ mehr als den Faktor 3 niedriger als bei handelsüblichen Dichtstoffen, wodurch eine Verbesserung der bewerteten Einfügungsdämmung um etwa 5 dB erreicht wird.

Zusammenfassung

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnte der Kenntnisstand über die akustischen Eigenschaften elastischer Fugendichtungen erheblich verbessert werden. Neben der Entwicklung eines Vorhersagemodells für die Einfügungs-

dämmung der Dichtungen erbrachte das Vorhaben vor allem folgende Ergebnisse:

- Fugendichtungen stellen - insbesondere im Sanitärbereich - einen wichtigen Schallübertragungsweg dar.
- Eine gute Körperschallisolation ist nur mit genügend weichen Dichtstoffen ($E_{dyn} \leq 1 - 2 \text{ N/mm}^2$) realisierbar.
- Mit neuartigen Dichtstoffen auf der Basis von Silikon lässt sich die Einfügungsdämmung von Fugendichtungen um ca. 5 dB verbessern. Voraussetzung hierfür ist ein niedriger dynamischer Elastizitätsmodul. Der Verlustfaktor des Materials spielt für die Körperschallisolation hingegen nur eine untergeordnete Rolle.
- Ein Verbesserungspotenzial von etwa 5 dB ergibt sich auch durch geeignete Formgebung der Dichtungen (Höhe der Fugendichtung möglichst klein im Verhältnis zur Breite). Handelsübliche elastische Fugenbänder stellen hierbei ein nützliches Hilfsmittel dar. Sie dürfen allerdings nicht zu stark komprimiert werden, da sie ansonsten einen zusätzlichen Schallübertragungsweg bilden.

Fazit: Silikon ist überall und hilft gegen Körperschall. Doch wie so oft in der Natur, zuviel des Guten schadet nur...

Danksagung

Wir bedanken uns beim Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) für die finanzielle Förderung des durchgeführten Forschungsvorhabens. Die Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit und mit Unterstützung der Henkel AG, bei der wir uns für die technische Beratung zu Verarbeitung und Anwendung der untersuchten Dichtstoffe, die Entwicklung und Herstellung akustisch verbesserter Materialien sowie die Bereitstellung der für das Forschungsvorhaben benötigten Proben bedanken.

Literatur

- [1] Weber, L.; Öhler, S.: Akustisch wirksame Kleb- und Dichtstoffe für den Einsatz in Gebäuden. Bericht B-BA 2/2013 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (2014).
- [2] Spiegel, C.: Körperschallisolation elastischer Kleb- und Dichtstoffe. BSc-Thesis an der Hochschule für Technik, Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2011).
- [3] Weber, L.; Sarikaya, C.; Öhler, S.; Mohr, J.; Spiegel, C.: Schallübertragung durch Silikonfugen. DAGA 2011, Tagungsband, S. 749 - 750.
- [4] Kaltbeitzel, B.: Entwicklung einer Messvorrichtung für den dynamischen Elastizitätsmodul und den Verlustfaktor von Kunststoffen, BSc-Thesis an der Universität Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2012).
- [5] Becker, G. W.: Über das dynamisch-elastische Verhalten geschäumter Stoffe, Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Acustica Vol. 9 (1959), S. 135 - 143.