

Einfluss von Belüftungsschlitzen auf die Luftschalldämmung von Kaldachkonstruktionen

Der Beitrag befasst sich mit der über die Belüftungsschlitze bei Kaldächern übertragenen Schallenergie und zeigt, in welchem Masse die Luftschalldämmung von der Dachkonstruktion beeinflusst wird. Das Thema ist für die Baupraxis bedeutungsvoll, da bei den diesbezüglichen Labormessungen in der Regel die Lüftungsschlitze nicht mituntersucht werden.

Einführung

Die Bedeutung der Luftschalldämmung von Schrägdächern hat in den letzten Jahren sehr stark zugenommen, da

VON BEAT KÜHN UND
RUDOLF BLICKLE,
UNTERÄGERI

immer mehr Dachgeschosse als Wohnraum genutzt werden. Hinzu kommen die steigenden Lärmimmissionen, das ständig wachsende Umweltbewusstsein der Bevölkerung und im weiteren natürlich noch die vom Bund im Jahre 1987 in Kraft gesetzte Lärmschutz-Verordnung (LSV), in welcher bestimmte Mindestanforderungen in bezug auf die Luftschalldämmung der Aussenhüllen von Wohnhäusern festgelegt sind. Eine Voraussetzung zur Erfüllung dieser gesetzlich verankerten Anforderungen sind Dachkonstruktionen mit hoher Luftschalldämmung. Da sich die Luftschalldämmung von mehrschaligen Bauteilen rechnerisch nur sehr grob ab-

schätzen lässt, ist man gezwungen, die Dachkonstruktionen im Laboratorium messtechnisch zu untersuchen.

Bei den in der Baupraxis angewandten Dachkonstruktionen wird zwischen Warmdächern und Kaldächern unterschieden. Kaldachkonstruktionen weisen dabei im Gegensatz zu Warmdächern zwischen der Dämmschicht und dem Unterdach einen belüfteten Hohlraum auf, welcher über Belüftungsschlitze bei der Traufe und beim First mit der Aussenluft verbunden ist. Über diese Belüftungsschlitze wird neben Frischluft auch Schallenergie von aussen in den Hohlraum übertragen, die sich dann weiter, in mehr oder minder abgeschwächter Form, in den ans Dach angrenzenden Wohnraum fortpflanzt. Diese zusätzlich ins Dachgeschoss übertragene Schallenergie überlagert sich im weiteren mit der über die eigentliche Dachfläche übertragenen akustischen Energie und kann zur Folge haben, dass die Luftschalldämmung des Dachs vermindert wird.

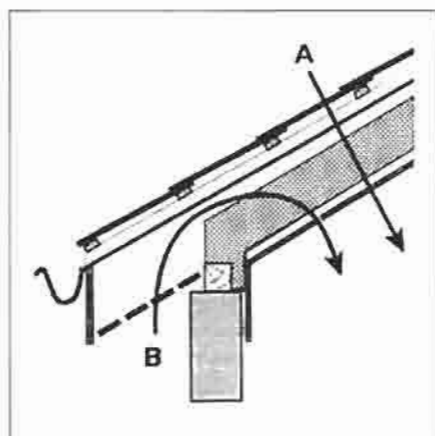
Der folgende Bericht befasst sich nun eingehend mit der über die Belüftungs-

schlitze bei Kaldächern übertragenen Schallenergie und versucht zu verdeutlichen, in welchem Ausmass die Luftschalldämmung von der Dachkonstruktion beeinflusst wird. Wir erachten dieses Thema für die Baupraxis als bedeutungsvoll, da ja bei den üblichen im Labor vorgenommenen Schalldämmungsmessungen an Dachkonstruktionen die Lüftungsschlitze nicht mituntersucht werden (gemessen werden im Regelfall Ausschnitte der Dachfläche mit umlaufend abgeklebten Anschlussfugen).

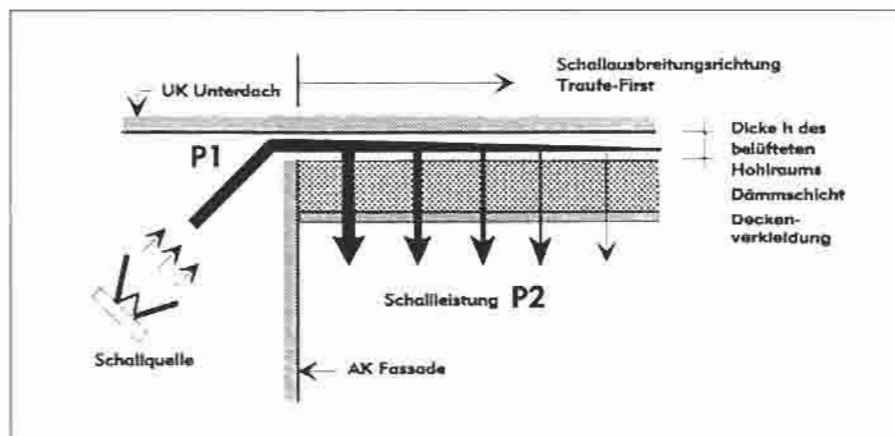
Theoretische Betrachtungen zur Luftschalldämmung von Kaldachkonstruktionen

Bei der Luftschallübertragung über Kaldächer von aussen nach innen sind grundsätzlich zwei Schallübertragungswege von Bedeutung. Dies ist zum einen der Weg A über die eigentliche Dachfläche und zum anderen der Weg B über den belüfteten Hohlraum via Belüftungsschlitze bei Traufe und First. Zusätzlich zu erwähnen wären noch die am Bau immer vorhandenen Schallnebenwegübertragungen, auf die jedoch hier nicht näher eingegangen wird.

Interessiert nun im praktisch ausgeführten Bau die Luftschalldämmung des Dachs als Ganzes, sind unbedingt beide Schallübertragungswege A und B zu betrachten. Während die Luftschalldämmung von Dachkonstruktionen bei alleiniger Übertragung über den Weg A aus Labormessungen hinlänglich bekannt ist, fehlen hingegen messtechnische Untersuchungen an Dä-



Schnitt durch Dachkonstruktion mit den beiden zu unterscheidenden Schallübertragungswegen A und B



Denkmodell zur rechnerischen Bestimmung der Luftschalldämmung einer Kaldachkonstruktion bei alleiniger Schallübertragung über den belüfteten Hohlraum via Belüftungsschlitze

chern fast vollständig, bei denen beide Wege A und B berücksichtigt werden.

Für die theoretische Ermittlung der Luftschalldämmung einer Kaldachkonstruktion bei ausschliesslicher Übertragung der Schallenergie über den Weg B dient das im folgenden dargestellte eindimensionale Denkmodell.

Beim obigen Denkmodell stellt die Schalleistung P_1 diejenige Leistung dar, welche von aussen über die Belüftungsschlitz in den Dachhohlraum zwischen Dämmschicht und Unterdach übertragen wird. P_2 ist im weiteren die über die Dämmschicht und die darunterliegende Deckenverkleidung in den Wohnraum transmittierte Schalleistung. Definitionsgemäss ergibt sich dann für die Luftschalldämmung der Dachkonstruktion bei ausschliesslicher Übertragung über den Weg B:

$$R_L = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

Dabei wurde die Grösse R mit dem Index L versehen, da es sich bei der vorliegenden Schallübertragungsart um eine sogenannte Schalllängsleitung entlang dem Dachhohlraum handelt. Für die weitere Behandlung des Problems kann für die beiden Schalleistungen P_1 und P_2 eingesetzt werden:

$$P_1 = \frac{[p(o)]^2 \cdot S}{Z} \text{ [W]} \quad (2)$$

Dabei bedeuten:

$p(o)$: Schalldruck bei den Belüftungsschlitz in $[\text{N/m}^2]$

S : Querschnitt der Belüftungsschlitz in $[\text{m}^2]$
(S = Breite der Lüftungsschlitz \cdot Höhe der Lüftungsschlitz)

Z : Schallkennimpedanz der Luft in $[\text{Ns/m}^3]$

$$P_2 = \frac{\tau_D \cdot B}{Z} \int_0^L [p(x)]^2 dx \text{ [W]} \quad (3)$$

$p(x)$ ist dabei der am Ort x im belüfteten Hohlraum herrschende Schalldruck. Er nimmt von der Eintrittsöffnung an ($x = 0$) exponentiell ab, gemäss der Funktion $p(x) = p(o) \cdot e^{-\alpha x}$. Eingesetzt in die Beziehung (3) erhält man dann für die in den Wohnraum abgestrahlte Schalleistung:

$$P_2 = \frac{\tau_D \cdot B}{Z} \int_0^L [p(o)]^2 \cdot e^{-2\alpha x} dx \text{ [W]} \quad (4)$$

Dabei bedeuten:

τ_D : Schalltransmissionsgrad der Deckenverkleidung inkl. der aufgelegten Dämmschicht [-]

B : Breite der Lüftungsschlitz bei der Traufe bzw. beim First in $[\text{m}]$

L : Länge des belüfteten Dachhohlraums senkrecht zur Traufe bzw. zum First in $[\text{m}]$

α' : Dämpfungskoeffizient in $[1/\text{m}]$; er beschreibt die Dämpfung der im belüfteten Hohlraum fortschreitenden ebenen Schallwelle

Schlussendlich lässt sich dann in gewohnter Pegelschreibweise für die Schalldämmung des Dachs bei ausschliesslicher Übertragung über den Weg B gemäss der Beziehung (1) angeben:

$$R_L = R_D + 10 \lg \left(\frac{-2\alpha'}{e^{-2\alpha' L} - 1} \right) + 10 \lg \left(\frac{L}{1,0} \right) \text{ [dB]} \quad (5)$$

Dabei ist R_D die Luftschalldämmung der Deckenverkleidung inklusive der aufgelegten Dämmschicht im einfachen Schalldurchgang.

Für die beiden Fälle «Dachhohlraum mit Dämmschicht» und «Dachhohlraum ohne Dämmschicht bzw. leer» lässt sich die obige Beziehung (5) vereinfachen zu:

Fall 1: Dachhohlraum mit Dämmschicht

Dabei wurden für die Dämmschicht die folgenden Kenndaten zugrunde gelegt:

- Dicke der Dämmschicht: 100–150 mm
- längenspezifischer Strömungswiderstand der Dämmschicht: 6–30 kNs/m^4

Diese Kennwerte weisen zum Beispiel die meisten normalerweise im Bauwesen verwendeten offenporösen Faserprodukte aus Stein- oder Glaswolle mit Dichten zwischen ca. 20–60 kg/m^3 auf. Im weiteren wurde angenommen, dass die Dicke des belüfteten Dachhohlraums $h = 50$ –80 mm beträgt. Daraus lässt sich dann das bewertete Schalldämm-Mass der Dachkonstruktion bei alleiniger Übertragung über den Weg B abschätzen zu:

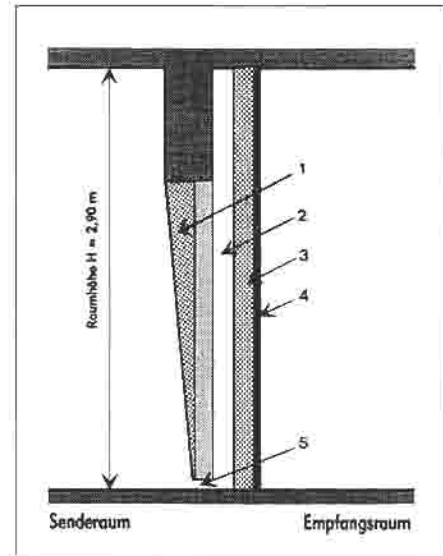
$$R_{L,W} = R_w^* + 80 \cdot d + 10 \lg \left(\frac{L}{1,0} \right) + 8,4 \text{ [dB]} \quad (6)$$

Fall 2: Dachhohlraum ohne Dämmschicht bzw. leer

Bei diesem in der Praxis wohl kaum auftretenden Fall ergibt sich das bewertete Schalldämm-Mass der Dachkonstruktion bei ausschliesslicher Übertragung über den Weg B zu:

$$R_{L,W} = R_w^* + 10 \lg \left(\frac{L}{1,0} \right) + 1,2 \text{ [dB]} \quad (7)$$

In den beiden Beziehungen (6) und (7) ist für R_w^* das bewertete Schalldämm-Mass der Deckenverkleidung ohne Ein-



Vertikalschnitt durch Prüföffnung mit Dachmodell

fluss der Dämmschicht und für d die Dicke der Dämmschicht in $[\text{m}]$ einzusetzen. Der zweite Term in der Beziehung (6) gibt grob den Einfluss der Dämmschicht auf das bewertete Schalldämm-Mass wieder. Es handelt sich dabei um einen empirischen Wert.

Aus den beiden obigen Beziehungen (6) und (7) erkennt man klar den grossen Einfluss der im Dachhohlraum eingebrachten Dämmschicht auf die Luftschalldämmung des Kaldachs. Ebenso wird die grosse Bedeutung einer gut schalldämmenden Deckenverkleidung deutlich. Die Luftschalldämmung der Dachkonstruktion steigt demnach proportional zur Luftschalldämmung der Deckenverkleidung an (Schallübertragung über den Weg B).

Durchführung von Laboruntersuchungen

Nachdem im obigen Abschnitt 2 eine Abhandlung zur Theorie der Schallübertragung bei Kaldächern über den Weg B gegeben wurde, befassen sich die Ausführungen in diesem Abschnitt mit umfangreichen messtechnischen Untersuchungen, welche in einem Prüfstand unseres Instituts an einem Dachausschnitt vorgenommen worden sind. Dabei wurden die beiden wichtigsten Grössen bzw. Parameter «Dämmschicht» und «Deckenverkleidung» in grossem Masse variiert und deren Einfluss auf die Luftschalldämmung von Dachkonstruktionen messtechnisch ermittelt. Zu diesem Zweck wurde ein Dachmodell mit den Abmessungen Breite = 1,20 m und Höhe = 2,90 m in eine Prüföffnung zwischen zwei Hall-

räumen mit den Volumina $V = 51 \text{ m}^3$ bzw. 59 m^3 eingebaut.

Bei den vorgenommenen Untersuchungen interessierte die erreichbare Luftschalldämmung bei ausschliesslicher Schallübertragung über den Weg B (Übertragung über den Belüftungsschlitz) bei Variierung der Dämmschicht und der Deckenverkleidung.

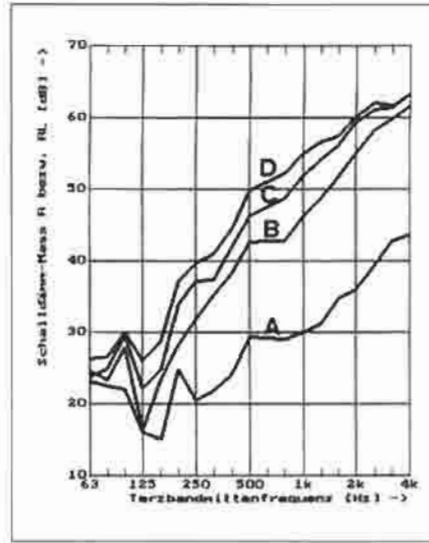
Bei den verschiedenen untersuchten Dämmschichten handelte es sich um Glaswolleprodukte mit den Bezeichnungen «Isover PBF» (Dichte: ca. 32 kg/m^3) und «Isover Uniroll» (Dichte: ca. 19 kg/m^3). Für die Deckenverkleidung wurden 13 mm dicke Holztafer mit Nut + Kamm, 16 mm dicke Holzspanplatten sowie 16 mm dicke Holzspanplatten mit einseitig vollflächig aufgeklebter Schwerfolie mit der Bezeichnung «Idikell. M 4001/05» (flächenbezogene Masse: 10 kg/m^2) verwendet. Zur Vergrößerung des Bereichs der flächenbezogenen Masse gegen unten wurde zusätzlich noch eine Deckenverkleidung aus 4,5 mm dicken Holzfaserhartplatten untersucht.

Die messtechnischen Untersuchungen wurden gemäss der Norm ISO 140 (1978) vorgenommen. Dazu wurde im Senderaum Terzbandrauschen über einen Lautsprecher im Frequenzbereich von $f = 63 \text{ Hz}$ bis 4000 Hz erzeugt. Gemessen wurden die Schalldruckpegel L_1 im Senderaum und L_2 im Empfangsraum mittels eines automatischen Messsystems. Als Wandler wurde ein elektrisch bewegtes Kondensatormikrofon verwendet. Aus den Messwerten wurde das Schalldämm-Mass R nach der Norm ISO 717 (1982) errechnet.

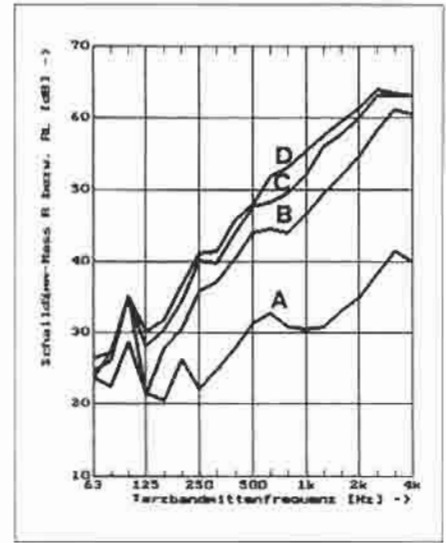
Die Ergebnisse der an den verschiedenen Dachmodellen durchgeführten Schalldämmmessungen sind im folgenden dargestellt. Dabei war es aus Platzgründen nicht möglich, die Schalldämmkurven $R(f)$ aller untersuchten Anordnungen darzustellen. Eine grafische Zusammenstellung sämtlicher Untersuchungsergebnisse findet man jedoch am Ende dieses Abschnitts.

Diskussion der Untersuchungsergebnisse und Folgerungen für die Praxis

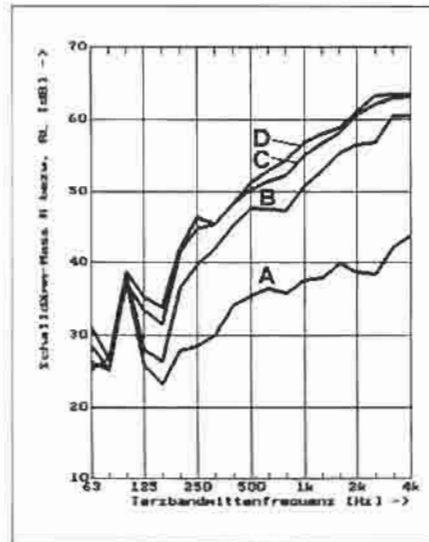
Aus der grafischen Zusammenstellung am Ende des Abschnitts 3 geht deutlich hervor, in welchem Ausmass die beiden untersuchten Parameter «Dämmschicht» und «Deckenverkleidung» die Luftschalldämmung einer Kaldachkonstruktion bei ausschliesslicher Schallübertragung über den Weg B beeinflussen. Je nach Dicke der im Dachhohlraum verlegten Dämmschicht bzw.



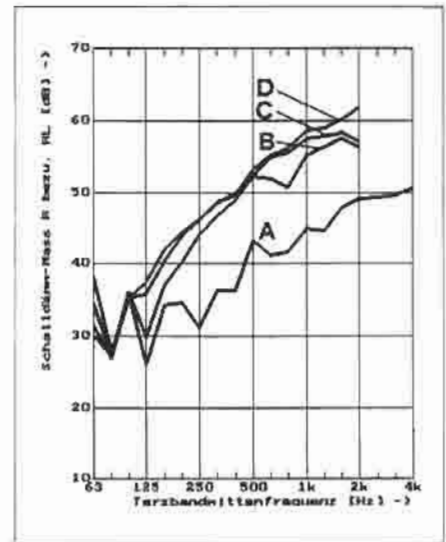
Dachmodell 1 mit Deckenverkleidung aus 4,5 mm dicken Holzfaserhartplatten und Dämmschicht aus: Kurve A: leerer Hohlraum, Kurve B: 50 mm Glaswolle, Kurve C: 100 mm Glaswolle, Kurve D: 150 mm Glaswolle



Dachmodell 2 mit Deckenverkleidung aus 13 mm dicken Holztafern und Dämmschicht aus: Kurve A: leerer Hohlraum, Kurve B: 50 mm Glaswolle, Kurve C: 100 mm Glaswolle, Kurve D: 150 mm Glaswolle



Dachmodell 3 mit Deckenverkleidung aus 16 mm dicken Holzspanplatten und Dämmschicht aus: Kurve A: leerer Hohlraum, Kurve B: 50 mm Glaswolle, Kurve C: 100 mm Glaswolle, Kurve D: 150 mm Glaswolle



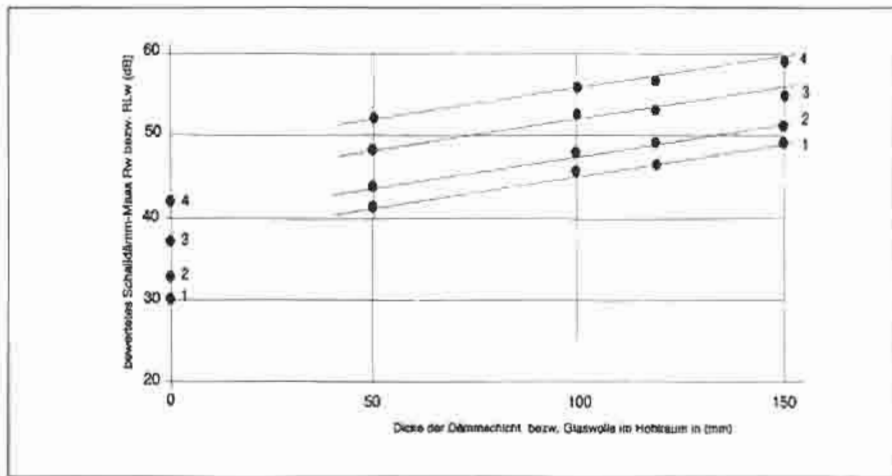
Dachmodell 4 mit Deckenverkleidung aus 16 mm dicken Holzspanplatten plus 5 mm dicker Schwerfolie und Dämmschicht aus: Kurve A: leerer Hohlraum, Kurve B: 50 mm Glaswolle, Kurve C: 100 mm Glaswolle, Kurve D: 150 mm Glaswolle

Glaswolle lässt sich eine Steigerung der Luftschalldämmung von grössenordnungsmässig 15–18 dB erzielen. Zur Erreichung dieser Werte in der Praxis sind generell Mineralwolleprodukte mit Dichten von ca. 20 bis 60 kg/m^3 von Vorteil.

Eine weitere einfache Möglichkeit zur Erzielung hoher Schalldämmungen ist die Verwendung schwerer Deckenverkleidungen. Durch eine Steigerung der flächenbezogenen Masse von $4,5 \text{ kg/m}^2$ bei einer Decke aus Holzfaserhartplatten auf $20,0 \text{ kg/m}^2$ bei einer Decke aus

Differenz ΔR_w	10	8	6	4	2	0	-2	-4	-6	-8	[dB]
von R_w Dachfl. abziehen	0	1	1	2	2	3	4	5	7	9	[dB]

Erklärung: Differenz $\Delta R_w = R_w$ (Belüftungsschlitz) - R_w (Dachfläche)



Zusammenstellung der bei den verschiedenen Dachmodellen gewonnenen Untersuchungsergebnisse (Messpunkte *):

Kurve 1: Deckenverkleidung aus 4,5 mm dicken Holzfaserhartplatten

Kurve 2: Deckenverkleidung aus 13 mm dicken Holztafeln

Kurve 3: Deckenverkleidung aus 16 mm dicken Holzspanplatten

Kurve 4: Deckenverkleidung aus 16 mm dicken Holzspanplatten mit 5 mm dicker Schwerfolie

Holzspanplatten mit rückseitig aufgebrachtener Schwerfolie kann die Luftschalldämmung um rund 12 dB angehoben werden. Mit einer Kombination beider Massnahmen (dicke Dämmschichten und schwere Deckenverkleidungen) können Dämmungen erreicht werden, die selbst sehr hohen Anforderungen genügen.

Wie des öfteren erwähnt wurde, ging es bei den durchgeführten Untersuchungen um eine Durchleuchtung der über den Dachhohlraum via Belüftungsschlitze in den Wohnraum unterhalb des Kaltdachs übertragenen Schallenergie (Schallübertragungsweg B). Wie steht es nun bei praktisch ausgeführten Dächern, wo nebst dem Schallübertragungsweg B der Schallübertragungsweg A über die eigentliche Dachfläche hin-

zukommt, bzw. wie gross ist die Luftschalldämmung des gesamten Dachs?

Diese ergibt sich relativ einfach dadurch, indem die Luftschalldämmung der eigentlichen Dachfläche (Schallübertragungsweg A) energetisch zur Luftschalldämmung des Dachs bei ausschliesslicher Übertragung über den belüfteten Hohlraum via Belüftungsschlitze (Schallübertragungsweg B) hinzuaddiert wird. Zur Durchführung dieser Rechnung dient untenstehendes Nomogramm.

Die Schalldämmung R_w der Belüftungsschlitze (Schallübertragung über den Weg B) kann dabei aus der grafischen Zusammenstellung am Ende des 3. Abschnitts entnommen werden, während die Schalldämmung R_w der Dach-

fläche im Normalfall aus Labormessungen bekannt ist.

Mit Hilfe des obigen Nomogramms kann der Einfluss der Schallübertragung über die Belüftungsschlitze bei Kaltdächern leicht ermittelt werden. Daraus ergibt sich, dass die Luftschalldämmung bei ausschliesslicher Übertragung über die Belüftungsschlitze mindestens 10 dB über der Schalldämmung der Dachfläche (Schallübertragungsweg A) liegen muss, um eine Beeinflussung der gesamten Dämmung durch den Weg B sicher auszuschliessen. Ist zum Beispiel die Dämmung des Belüftungsschlitzes gleich hoch wie die Dämmung der Dachfläche ($\Delta R_w = 0$ dB), so ergibt sich die Gesamtdämmung des fertigen Kaltdachs zu $R_{w(\text{Dachfläche})} - 3$ dB; das heisst, in diesem Fall sind von dem im Labor gewonnenen Schalldämm-Mass (Messung ohne Einfluss der Belüftungsschlitze) 3 dB abzuziehen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Belüftungsschlitze bei praktischen Kaltdachausführungen (Dämmschicht aus 100–120 mm dicker Mineralwolle, Deckenverkleidung aus 13–16 mm dicken Holztafeln) dann besonders zu beachten sind, wenn die Luftschalldämmung der Dachkonstruktion gemäss Labormessung in der Grössenordnung von $R_w = 45$ dB und darüber liegt. In solchen Fällen empfiehlt sich der Einbau besonders schwerer Deckenverkleidungen und nicht allzu dünner Dämmschichten im belüfteten Dachhohlraum.

Adresse der Verfasser: B. Kühn, R. Blickle, Kühn + Blickle, Institut für Lärmschutz, 6314 Unterägeri.

Die Forschungsarbeiten wurden von den Firmen Isover AG in 8155 Niederhasli und Siegfried Keller AG in 8304 Wallisellen finanziell unterstützt.