

## Zur Unsicherheit von Werten aus Bemessungskurven

Volker Wittstock, Werner Scholl

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, volker.wittstock@ptb.de

### Einleitung

Das aktuelle Konzept zur Berücksichtigung der Unsicherheiten in der DIN 4109 [1] sieht eine klare Trennung der Verantwortlichkeiten von Prüflabor, Hersteller und Planer vor. Zudem werden für die einzelnen Unsicherheitsbeiträge Zahlenwerte genannt. Für das bewertete Schalldämm-Maß wird vorgeschlagen, die Messunsicherheit im Prüfstand mit 1,2 dB [2] anzusetzen. Dazu kommt die Streuung auf Grund der begrenzten Reproduzierbarkeit des Bauteils, die mit 1,0 dB abgeschätzt wird. Diese Produktstreuung ist zwei Mal zu berücksichtigen, da bei der Messung im Labor ein Exemplar und beim konkreten Bauvorhaben ein anderes Exemplar zum Einsatz kommen. Damit liegt die Unsicherheit beim Eingang in die Prognoserechnung bei  $u_{input} = 1,9$  dB. Die Frage ist nun, wie groß diese Unsicherheit ist, wenn das bewertete Schalldämm-Maß oder andere Eingangsgrößen für die Prognose aus einer Bemessungskurve oder -tabelle stammen.

### Bemessungskurven

Die Untersuchung zu den Bemessungskurven erfolgte anhand der sogenannten Massekurve, der Abhängigkeit des bewerteten Schalldämm-Maßes von der flächenbezogenen Masse. Die Eingangsdaten wurden freundlicherweise von der HfT Stuttgart zur Verfügung gestellt (Tabelle 1).

**Tabelle 1** Auf mittleren Bau-Verlustfaktor umgerechnete bewertete Schalldämmmaße als Funktion der Flächenmasse für Kalksandstein

$m'$ in $kg/m^2$	130	180	285	341	475	614
$R_{W,Bau}$ in dB	43,2	46,6	54,5	56,6	60,3	63,5

Der übliche Ansatz ist nun, das bewertete Schalldämm-Maß als linear abhängig vom dekadischen Logarithmus der flächenbezogenen Masse auszudrücken. Wird hierfür eine lineare Regression angesetzt

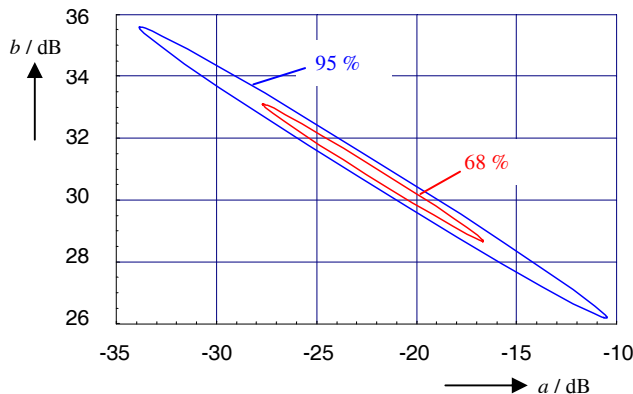
$$R_{W,Bau} = b \lg \left[ \frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right] + a \tag{1}$$

so ergeben sich die Parameter  $a$  und  $b$  zu

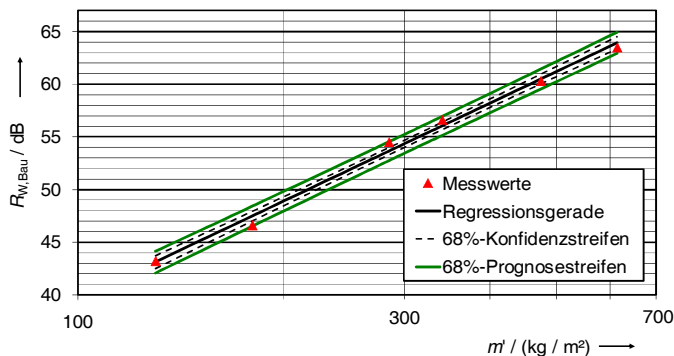
$$\begin{aligned} a &= -22,18 \text{ dB} \\ b &= 30,89 \text{ dB} \end{aligned} \tag{2}$$

Die Unsicherheit dieser Parameter kann mit einer Mathematik-Software, z.B. mathematica berechnet werden. Als Konfidenzbereich ergibt sich für die beiden Parameter eine flache Ellipse, die eine starke negative Korrelation zwischen beiden Parametern anzeigt (Bild 1).

Wird aus der Unsicherheit dieser Parameter die Unsicherheit einer zukünftigen Realisierung des Schalldämm-Maßes abgeschätzt, so ergibt sich unter der Voraussetzung vernachlässigbarer Unsicherheiten der Eingangsgrößen für die Regression (Tabelle 1) ein Wert von ca. 1,2 dB (Bild 2).

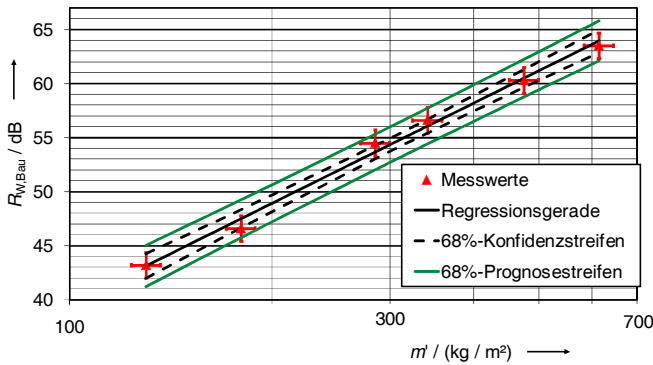


**Bild 1** Konfidenzbereiche für die Parameter  $a$  und  $b$



**Bild 2** Gemessene bewertete Schalldämm-Maße, zugehörige Standard-Unsicherheiten, Konfidenzstreifen für die Regressionsgerade und Prognosestreifen für weitere Einzel-Realisierungen bei Vernachlässigung der Unsicherheit der Eingangsgrößen (Tabelle 1)

Wird dagegen die Unsicherheit der Eingangsgrößen mit 1,2 dB für das bewertete Schalldämm-Maß [2] und 5% für die flächenbezogene Masse abgeschätzt, so ergibt sich die Breite eines Prognosestreifens zu 1,7 - 1,9 dB (Bild 2). Dieser Streifen enthält mit einer statistischen Sicherheit von 68% zukünftige Realisierungen von Kalksandsteinwänden. Der Streifen ist in der Mitte des abgedeckten Bereichs flächenbezogener Massen etwas schmaler, da eine Vorhersage in diesem Bereich sicherer ist. Ebenfalls dargestellt ist in (Bild 2) ein Konfidenzstreifen, der deutlich schmaler als der Prognosestreifen ist. Er enthält mit einer statistischen Sicherheit von 68% die Regressionsgerade, die als Ergebnis aus mehreren Einzelmessungen eine deutlich geringere Unsicherheit aufweist als eine einzelne Realisierung.



**Bild 3** Gemessene bewertete Schalldämm-Maße, zugehörige Standard-Unsicherheiten, Konfidenzstreifen für die Regressionsgerade und Prognosestreifen für weitere Einzel-Realisierungen bei Berücksichtigung der Unsicherheit der Eingangswerte (Tabelle 1)

### Bemessungstabellen

Im Bauteilkatalog der DIN 4109 sind für häufig verwendete Konstruktionen typische Bauteilkenngößen, hier mit  $y$  bezeichnet, angegeben. Da üblicherweise  $n$  Messungen für dasselbe Bauteil vorliegen, werden die Mittelwerte

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

und die zugehörigen Standardabweichungen

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

aufgeführt. Unter der Voraussetzung, dass alle Werte unabhängig voneinander sind, also insbesondere aus verschiedenen Prüfständen stammen, ergibt sich die Unsicherheit für eine weitere Realisierung des betrachteten Bauteils zu

$$u_{input,1} = \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + 1} \quad (5)$$

Falls die Messungen aus demselben Prüfstand stammen, so beinhaltet die im Bauteilkatalog aufgeführte Standardabweichung im Wesentlichen nur noch die Produktstreuung. In diesem Fall ergibt sich die Unsicherheit einer weiteren Realisierung aus der Überlagerung des doppelten Wertes dieser Streuung mit der Unsicherheit der Labormessung, die im selben Labor nicht sichtbar wird. Letztere kann durch die aus Ringversuchen ermittelte Vergleichs-Standardabweichung  $\sigma_R$  abgeschätzt werden

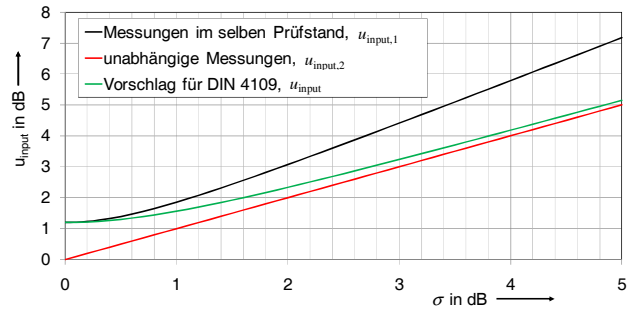
$$u_{input,2} = \sqrt{2 \sigma^2 + \sigma_R^2} \quad (6)$$

Die genaue Herkunft der Daten im Bauteilkatalog ist im Allgemeinen für den Anwender nicht erkennbar. Daher ist eine Unterscheidung zwischen Werten aus demselben Prüfstand bzw. aus verschiedenen Prüfständen nicht praktikabel. Um dennoch zu einer Lösung zu gelangen, wurde ein üblicher Wertebereich für Standardabweichungen aus dem aktuell vorgeschlagenen Katalog für den Holz- und Leichtbau ermittelt. Dort treten für bewertete Schalldämmmaße Standardabweichungen zwischen 0,2 und 5,1 dB auf. Bei den sehr geringen Standardabweichungen liegt die Vermutung nahe, dass die Messungen aus

demselben Prüfstand stammen und die Produktstreuung klein ist. Die sehr großen Standardabweichungen lassen auf sehr große Produktstreuungen schließen, die die übliche Messunsicherheit von ca. 1,2 dB [2] bei weitem übersteigt. Angesichts dieser Grenzfälle lautet der Vorschlag für die Unsicherheit als Eingangsgröße für die Prognose

$$u_{input} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_R^2} \quad (7)$$

zu verwenden. Bei niedrigen Standardabweichungen  $\sigma_R$  wird die Kurve für Messungen aus demselben Prüfstand angenähert und bei hohen Standardabweichungen die Kurve für unabhängige Messungen (Bild 4).



**Bild 4** Eingangunsicherheit von Tabellenwerten für die Fälle unabhängige Messungen, Messungen im selben Prüfstand und Vorschlag für die DIN 4109 am Beispiel bewerteter Schalldämmmaße

### Zusammenfassung

Bei Bemessungskurven muss die Unsicherheit der zugrundeliegenden Messwerte berücksichtigt werden. Für das untersuchte Beispiel ist  $u_{input}$  für Bemessungskurven mit ca. 1,9 dB in derselben Größenordnung wie für ein einzelnes Prüfzeugnis. Da für jede Massekurve ein anderer Zusammenhang gilt, wird im Forschungsbericht [3] eine konkrete Handlungsanleitung zur Berechnung der Unsicherheiten gegeben. Für Werte aus dem Bauteilkatalog wird vorgeschlagen, die im Bauteilkatalog angegebene Standardabweichung mit der Messunsicherheit der Labormessung zu überlagern. Letztere kann dabei mit der Vergleichs-Standardabweichung nach ISO 12999-1 [2] abgeschätzt werden.

### Danksagung

Die Autoren danken Herrn Martin Schneider von der HfT Stuttgart für die Bereitstellung der Messergebnisse sowie dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) für die finanzielle Förderung des Projekts.

### Literatur

[1] DIN 4109, Schallschutz im Hochbau, Entwurf  
 [2] ISO DIS 12999-1: *Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik - Teil 1: Schalldämmung*, 2012  
 [3] V. Wittstock, W. Scholl: *Unsicherheiten von Werten aus Bemessungskurven und -tabellen*. Abschlussbericht zum gleichnamigen DIBt-Projekt, Braunschweig, Dezember, 2011