

Notwendige Stichprobengröße in der Bauakustik

Reinhard O. Neubauer¹

¹ IBN Bauphysik GmbH & Co. KG, 85049 Ingolstadt, E-Mail: dr.neubauer@ibn.de

Einleitung

Wird in der Bauakustik eine große Anzahl von Schalldämmungsmessungen gleicher Bauteile erforderlich, kann es aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll sein, die Anzahl der Messungen zu reduzieren. Es stellt sich dann die Frage, um wieviel darf die Gesamtzahl der Messungen reduziert werden, wenn eine verlässliche Aussage getroffen werden soll, dass für die Gesamtzahl der zu prüfenden Bauteile ein bestimmter Grenzwert, z.B. das erforderliche Schalldämm-Maß, eingehalten wird. Diese Frage lässt sich mit Hilfe der Inferenzstatistik (auch schließende Statistik), basierend auf einer Stichprobe, beantworten. Die Inferenzstatistik ist ein Teilbereich der Statistik, mit dem man von einer Stichprobe auf eine größere Grundgesamtheit schließt. Mit einer Stichprobe wird das Ziel verfolgt, die Verteilungen von Eigenschaften (hier: die Schalldämmung) in der Grundgesamtheit (hier: das Gebäude) annähernd zu erheben. Im Grunde kann eine Aussage über eine Stichprobe mit einhundertprozentiger Sicherheit immer nur Gültigkeit für die Stichprobe selbst haben, die annähernde Gültigkeit für die Grundgesamtheit wird statistisch abgeleitet. Da mit einem Stichprobenverfahren das Ziel verfolgt wird, eine möglichst kleine Teilmenge zu untersuchen, werden an die Stichprobe statistisch sehr hohe Anforderungen gestellt. Um die Repräsentativität der Stichprobe für die Grundgesamtheit sicherzustellen, müssen der notwendige Stichprobenumfang statistisch berechnet und die geeignete Art der Stichprobe durch organisatorische Prüfungen ermittelt werden. Subjektive „Erfahrungswerte“ helfen hier nicht weiter. In der Praxis ist deshalb zunächst, gemeinsam mit dem Auftraggeber, eine Festlegung über die gewünschte Genauigkeit der Erhebung zu treffen. Dies entscheidet wesentlich über die Größe der Stichprobe, d. h. darüber, ob 5, 10, bzw. 20 Prozent oder ggf. auch noch größere Anteile der Grundgesamtheit zu untersuchen sind. Weiterhin muss die Standardabweichung berechnet werden, wofür die angenommene maximale und minimale Schalldämmung herangezogen werden. Aus Praktikabilitätsgründen kann zusätzlich noch eine tolerante Qualitätsanforderung gewählt und damit der Aufwand des Messumfanges weiter deutlich reduziert werden. In diesem Beitrag wird der mindestens notwendige Messumfang (Anzahl der Messungen) zur Gewährleistung der gewählten Qualitätsanforderung berechnet und es werden die entsprechenden Abhängigkeiten der Messanzahl (Stichprobengröße) von dem gewählten Vertrauensniveau (Konfidenzniveau), der erwarteten Mängelquote (Fehlerquote) und der Genauigkeit der Stichprobenschätzung (Fehlermarge) beschrieben [1-4]. Es wird anhand von Berechnungsbeispielen gezeigt, wie viele Trennbauerteile in Wohnungen von großen Gebäuden gemessen werden müssen, damit bei einem gewählten Vertrauensniveau (z.B. 95%), das Ergebnis repräsentativ für das ganze Gebäude (z.B. 30 Wohnungen) ist.

Methodik der Stichprobenplanung

Ziel der Untersuchung

Ziel der Stichprobenplanung ist es, die minimale Anzahl an Schalldämmungsmessungen zu bestimmen, die erforderlich

ist, um mit einer definierten Wahrscheinlichkeit (z.B. 95%) eine Aussage über die Einhaltung eines geforderten Schalldämm-Maßes von z.B. $R'_{w} = 53$ dB für alle Trennwände eines Wohngebäudes treffen zu können. Das Stichprobenverfahren hat also wirtschaftliche Vorteile, da es billiger ist, nur eine spezielle Anzahl von Messungen durchzuführen, als alle Bauteile bzw. Trennwände zu messen. Die Stichprobe kann gut über die Verhältnisse in der Grundgesamtheit Auskunft geben wie die Grundgesamtheit selbst [5]. Der Schluss von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit, also der induktive Schluss, ist damit möglich. Mit Hilfe der Stichprobenbefunde können die unbekannten Parameter geschätzt werden.

Statistisches Grundmodell

Die Berechnung basiert auf der Schätzung eines Anteils fehlerhafter Bauteile (zu geringe Schalldämmung im Vergleich zu dem geforderten Wert) innerhalb einer endlichen Grundgesamtheit (Gebäude mit N Wohnungen bzw. Trennwänden). Es wird angenommen, dass ein kleiner Anteil der Wohnungen (hier: Trennwände) die Anforderung unterschreiten könnte. Also die geforderte Schalldämmung wird bei der messtechnischen Überprüfung verfehlt, d.h. die gemessene Schalldämmung ist kleiner als der Soll-Wert.

Annahmen:

- Zufällige Auswahl der zu messenden Bauteile (Wohnungen)
- Homogene Bauausführung der Bauteile (Trennwände)
- Unabhängige Messergebnisse
- Grundgesamtheit normalverteilt

Verwendete Parameter

Parameter	Bedeutung	Wert
p	angenommener Anteil nicht-konformer Bauteile	variabel
E_{stat}	statistische Fehlermarge	variabel
$Z(95\%)$	Standardnormalwert für 95%	1,96
m	Messfehler	variabel
$R'_{w,\text{Soll}}$	gefordertes Schalldämm-Maß	53 dB
N	Anzahl der Bauteile	variabel

Erwarteter Anteil p

Zur Veranschaulichung des erwarteten Anteils p , d.h. des angenommenen Anteils nicht-konformer Bauteile, ist nachstehend die Bedeutung von p situationsbezogen für $N = 30$ beschrieben:

Situation	Bedeutung von p	Erwartung
Es wird vermutet, dass fast alle Bauteile ok sind	$p = 5\%$	ca. 1-2 Bauteile von 30 evtl. fehlerhaft
Ein paar könnten fehlerhaft sein	$p = 10\%$	etwa 3 von 30 sind evtl. fehlerhaft
Es ist vollkommen unklar, wie viele oder wie wenige fehlerhaft sind (worst case)	$p = 50\%$	die Hälfte der Bauteile ist evtl. fehlerhaft

Bestimmung der statistischen Fehlermarge E_{stat}

Die Fehlermarge quantifiziert die Unsicherheit der Messergebnisse. Die Fehlermarge ist also eine Komponente des Konfidenzintervalls, die die Breite des Konfidenzintervalls angibt.

Das heißt, die Fehlermarge gibt das Maximum und das Minimum der akzeptierten Werte der betrachteten Größe an. Eine größere Stichprobenumfang führt in der Regel zu einer geringeren Fehlerspanne, was auf präzisere Ergebnisse hinweist. D.h. eine kleinere Fehlermarge deutet darauf hin, dass das Messergebnis näher an dem wahren Wert liegt, während eine größere Fehlermarge auf größere Unsicherheit und einen breiteren Bereich möglicher Ergebnisse hinweist. Eine akzeptable Fehlermarge bei 95% Vertrauensniveau liegt bei etwa 5%. Die statistische Fehlermarge berechnet sich nach Gl. (1):

$$E_{stat} = Z \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (1)$$

Dabei steht s für die Standardabweichung, n für die Stichprobengröße, und Z für den Z-Wert (entnommen aus der Z-Tabelle). Die Gleichung zeigt die umgekehrte Beziehung zwischen Stichprobengröße und Fehlermarge. Zur Abschätzung des Stichprobenumfangs wird E_{stat} gewöhnlich vorgegeben bzw. angenommen (geschätzt).

Bestimmung des Z-Wertes

Der Z-Wert entspricht dem gewünschten Vertrauensniveau (Konfidenzniveau) und gibt an, wie weit ein Datenpunkt vom Mittelwert in Standardabweichungseinheiten entfernt ist. Ein Vertrauensniveau von 95% entspricht einem Z-Wert von 1,96, während ein Vertrauensniveau von 99% mit einem Z-Wert von 2,58 verbunden ist. In der Tabelle 1 ist ein Auszug aus den Z-transformierten Werten wiedergegeben.

Tabelle 1: Standardnormalverteilung (Z-Werte), aus [6]:

Vertrauensniveau	Z-Wert
80%	1,28
85%	1,44
90%	1,65
95%	1,96
99%	2,58

Berücksichtigung des Messfehlers

Der Messfehler wird als zusätzlicher Unsicherheitsanteil berücksichtigt und auf den „Soll-Wert“ bezogen [2]:

$$E_{Mess} = \frac{\text{Messfehler}}{\text{Anforderung}} = \frac{m}{R'_{w, \text{Soll}}} \quad (2)$$

Die effektive Fehlermarge ergibt sich dann zu:

$$E_{eff} = E_{stat} + E_{Mess} \quad (3)$$

Damit wird sichergestellt, dass sowohl die statistische Streuung als auch die messtechnische Unsicherheit konservativ abgedeckt sind.

Berechnung der Stichprobengröße

Unkorrigierte Stichprobe (große Population)

Die Herleitung der Stichprobengrößenformel ist in [1] beschrieben. Die Größe der Stichprobe wird, unter der Annahme einer Normalverteilung, nach Gleichung (4) berechnet:

$$n_0 = \frac{Z^2 p (1 - p)}{E_{eff}^2} \quad (4)$$

Korrektur für endliche Grundgesamtheit (FPC)

Die Korrektur für „endliche“ Größen (kleine Population) erfolgt durch die „Endlichkeitskorrektur (Finite Population Correction (FPC) [1, 7])“. Die korrigierte Stichprobengröße für kleine N berechnet sich nach Gl. (5) zu:

$$n = \frac{N n_0}{n_0 + (N - 1)} \quad (5)$$

Praktische Messanzahl

$$n_{\text{praktisch}} = \lceil n \rceil$$

(aufrunden auf die nächste ganze Zahl)

Beispiel

Als Beispiel wird ein Konfidenzintervall von 95% mit einem geschätzten Anteil von 50% (worst case) der Bauteile, die den Anforderungen nicht genügen, vorausgesetzt. Die absolute Fehlermarge (E_{stat}) wird variiert und beträgt: 1%, 10% und 20%. In dieser Berechnung steht p für den erwarteten Anteil (Prozentsatz) der Bauteile (oder Wohnungen), bei denen das Schalldämmmaß nicht den geforderten Wert von z.B. 53 dB erfüllen wird, also der Anteil der nicht-konformen Bauteile in der gesamten Stichprobe. Anders ausgedrückt ist p gleich der Wahrscheinlichkeit, dass ein zufällig ausgewähltes Bauteil nicht-konform ist. Ein konkretes Ergebnis für den „worst case“ mit $p = 50\%$ und einem gewählten Vertrauensbereich von 95% zeigt, dass bei einer Fehlermarge von $E_{stat} = 1\%$ bei einer Gesamtheit von 30 Bauteilen, 30 Bauteile überprüft werden müssen. Bei einer Fehlermarge von 10% sind es noch 24 und bei 20% Fehlermarge müssen noch 14 Bauteile überprüft werden. In der Abb. 1 ist dieser Sachverhalt grafisch dargestellt.

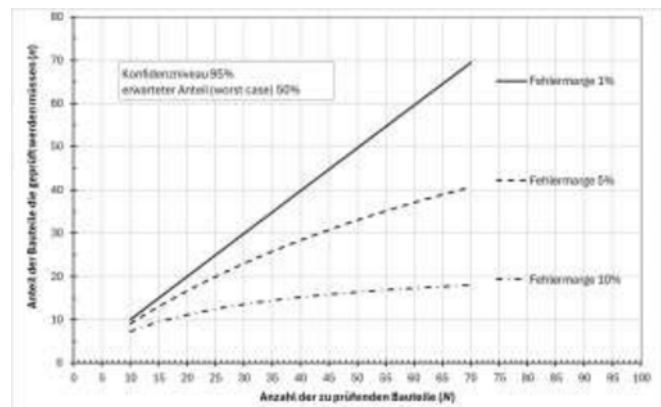


Abbildung 1: Erforderliche Anzahl von Messungen (Mindest-Stichprobenumfang n) in Abhängigkeit der Grundgesamtheit N (Anzahl von Bauteilen) für unterschiedliche Fehlermargen (E_{stat}), ohne Berücksichtigung eines Messfehlers (m)

In Abb. 1 ist der Anteil der Bauteile, die geprüft werden müssen, d.h. die Anzahl der erforderlichen Messungen, in Abhängigkeit der Anzahl von Bauteilen (Grundgesamtheit der Bauteile) bei unterschiedlichen statistischen Fehlermargen (Genauigkeit der Stichprobenschätzung) und eines angenommenen Anteils nicht-konformer Bauteile von 50% (worst case) dargestellt. Es zeigt sich, dass bei wachsender Fehlermarge, weniger Messungen benötigt werden. Wird zur statistischen Fehlermarge (E_{stat}) ein Messfehler (m) hinzugerechnet, ergibt sich nach Gleichung (3) die effektive Fehlermarge (E_{eff}). Zum Vergleich: Bei einem Soll-Wert von 53 dB und einem Messfehler von ± 2 dB ($E_{Mess} \approx 3,77\%$) und einer statistischen

Fehlermarge von $E_{\text{stat}} = 10\%$, beträgt die effektive Fehlermarge $E_{\text{eff}} = 13,8\%$ (aufgerundet 14%). Also statt 10% Fehlermarge ergibt sich effektiv 14%, wodurch die erforderliche Stichprobengröße abnimmt, d.h. kleiner wird. Wird die statistische Fehlermarge $E_{\text{stat}} = 1\%$ konstant gehalten sowie ein Messfehler von ± 2 dB berücksichtigt ($E_{\text{Mess}} \pm 3,8\%$) und p variiert, ergeben sich die an einem Beispiel dargestellten erforderlichen Stichprobengrößen. Dabei ist die Grundgesamtheit $N = 30$ und eine 95%-ige statistische Sicherheit vorausgesetzt:

$p = 1\%$	$E_{\text{stat}} \pm 1\%:$	$\rightarrow n \approx 11$
$p = 5\%$	$E_{\text{stat}} \pm 1\%:$	$\rightarrow n \approx 23$
$p = 10\%$	$E_{\text{stat}} \pm 1\%:$	$\rightarrow n \approx 26$
$p = 50\%$	$E_{\text{stat}} \pm 1\%:$	$\rightarrow n \approx 29$

Wird die statistische Fehlermarge E_{stat} variiert und der Anteil nicht-konformer Bauteile $p = 1\%$ konstant gehalten, ergeben sich die in Abb. 2 grafisch dargestellten Stichprobengrößen.

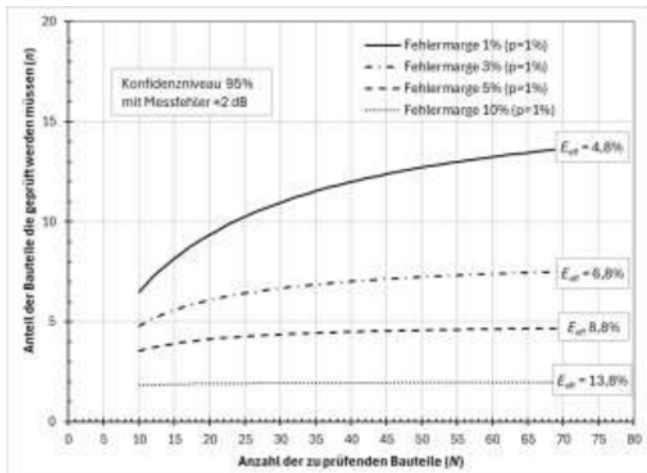


Abbildung 2: Einfluss der Fehlermarge E_{stat} auf den Stichprobenumfang (n) bei konstantem erwarteten Anteil p von 1% unter Berücksichtigung eines Messfehlers von ± 2 dB

Das exemplarische Beispiel ($N = 30$ und 95% Konfidenz) zeigt nachstehend den Sachverhalt in Abb. 2 zahlenmäßig:

$p = 1\%$	$E_{\text{stat}} \pm 1\%:$	$\rightarrow n = 10,96 \approx 11$
$p = 1\%$	$E_{\text{stat}} \pm 3\%:$	$\rightarrow n = 6,67 \approx 7$
$p = 1\%$	$E_{\text{stat}} \pm 5\%:$	$\rightarrow n = 4,37 \approx 5$
$p = 1\%$	$E_{\text{stat}} \pm 10\%:$	$\rightarrow n = 1,94 \approx 2$

Der Einfluss der Fehlermarge E_{stat} auf die Stichprobengröße n bei einem erwarteten Anteil $p = 50\%$ (worst case) ohne Berücksichtigung eines Messfehlers zeigt, dass bei kleinen Fehlermargen der Stichprobenumfang stark ansteigt. Bei sehr kleiner Fehlermarge (1-3%) ist im „worst case“ der funktionale Zusammenhang annähernd linear, so dass sich eine Reduzierung des Messaufwandes nicht lohnt, bzw. sehr gering ausfällt. Wird hingegen eine Fehlermarge von 10% toleriert, kann bei einer großen Anzahl von zu prüfenden Bauteilen eine erhebliche Anzahl eingespart werden. In der Praxis ist aber immer mit einem Messfehler zu rechnen, so dass für die zu berücksichtigende Fehlermarge der Messfehler hinzugerechnet werden muss. Wird ein Messfehler von z.B. ± 2 dB berücksichtigt zeigt sich, dass die Stichprobengröße deutlich reduziert wird. Für den „worst case“ und z.B. $N = 30$ ergeben sich mit und ohne Messfehler folgende Stichprobenumfänge (n):

ohne Messfehler (E_{stat})	mit Messfehler (E_{eff})
$E_{\text{stat}} = 1\%:$ $\rightarrow n \approx 30$	$E_{\text{eff}} = 4,8 \approx 5\%:$ $\rightarrow n \approx 29$
$E_{\text{stat}} = 5\%:$ $\rightarrow n \approx 28$	$E_{\text{eff}} = 8,8 \approx 9\%:$ $\rightarrow n \approx 25$
$E_{\text{stat}} = 10\%:$ $\rightarrow n \approx 24$	$E_{\text{eff}} = 13,8 \approx 14\%:$ $\rightarrow n \approx 20$

In Abb. 3 ist der Einfluss des Messfehlers auf den Mindest-Stichprobenumfang für $N = 10$ bis 70 grafisch dargestellt. Für große Gebäude ($N > 30$) sind wegen des Messfehlers die benötigten n deutlich kleiner als ohne Messfehler.

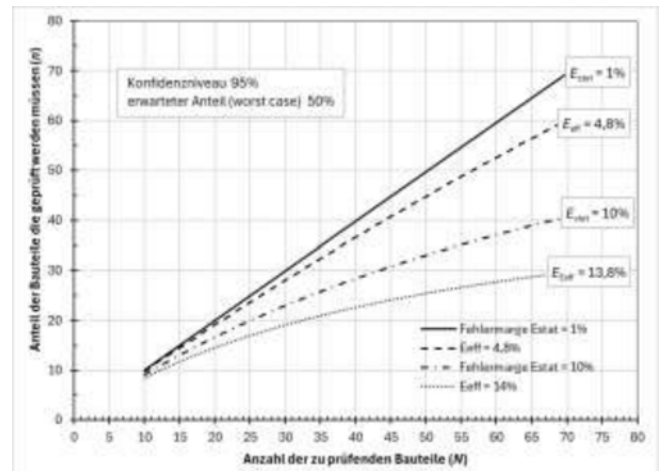


Abbildung 3: Einfluss des Messfehlers ± 2 dB auf die Stichprobengröße (n) für einen erwarteten Anteil $p = 50\%$ (worst case) mit einer Fehlermarge von $E_{\text{stat}} = 1\%$ und $E_{\text{stat}} = 10\%$

Aus Abb. 3 erkennt man, dass sich durch das Einbeziehen des Messfehlers die Anzahl der Stichproben deutlich verringert. Der Einfluss wird dabei größer, je größer die statistische Fehlermarge (E_{stat}) ist. Es zeigt sich, dass bei wachsendem Messfehler, weniger Messungen benötigt werden. Bei größeren Gebäuden zeigen die Ergebnisse, dass sich die erforderliche Mindestanzahl der notwendigen Messungen einem Grenzwert (Sättigung) annähert [3]. Bei kleinen Messfehlern steigt der Stichprobenumfang stark an. Dieser Sachverhalt ergibt sich aus der Abb. 4. In dieser Graphik ist die Stichprobengröße bei einer Fehlermarge von 1% und 10% einmal mit und ohne Messfehler von 1 dB, 2 dB und 3 dB berücksichtigt.

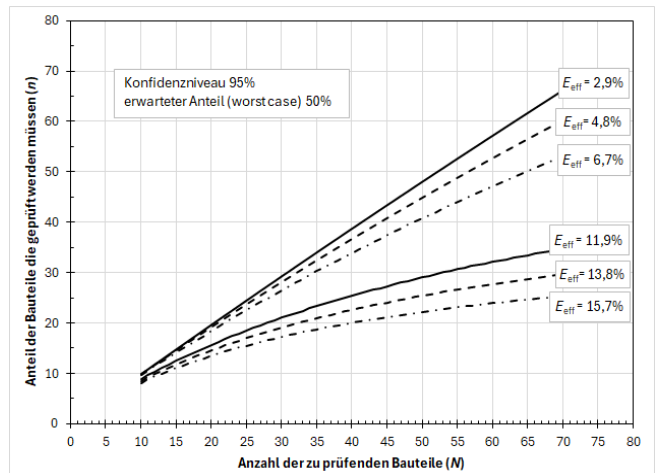


Abbildung 4: Einfluss des Messfehlers ± 1 dB, ± 2 dB, ± 3 dB auf die Stichprobengröße (n) bei $E_{\text{stat}} = 1\%$ und 10% für einen erwarteten Anteil $p = 50\%$ (worst case)

Hinweis zur Interpretation dieser Zahlen:

Mathematisch ergibt sich bei größerem Messfehler ein größeres $E_{\text{eff}} = E_{\text{stat}} + E_{\text{Mess}}$. Weil man eine größere effektive Fehlermarge akzeptiert, kann sich als Ergebnis eine kleinere Stichprobe ergeben, das heißt aber nicht, dass die Prüfaussage besser wird. Im Gegenteil: eine größere Messunsicherheit macht die Messung weniger präzise in dB-Termen. Die kleineren n bei ± 3 dB bedeuten nur, dass mit einer größeren (weniger

scharf definierten) Messanforderung dieselbe statistische „Fehlermarge“ erreicht wird.

Abschließend wird noch auf den Einfluss des Z-Wertes auf die Stichprobengröße eingegangen. Bei gleichen Parametern unterscheidet sich die Aussagewahrscheinlichkeit von 95% ($Z = 1,96$) gegenüber einer Aussagewahrscheinlichkeit von 99% ($Z = 2,58$) unter Berücksichtigung eines Messfehlers deutlich, so dass die Größe des berücksichtigten Messfehlers die Größe der Stichprobe bestimmt. Für große Gebäude reduziert sich die Stichprobengröße deutlich bei geringerer Aussagewahrscheinlichkeit. Mit dem Konfidenzniveau von 95 % oder 99 % wird der Grad der Sicherheit ausgedrückt, der mit der Schätzung verbunden ist, oder anders ausgedrückt, wie genau die Schätzung ist. Abb. 5 zeigt ein Beispiel grafisch.

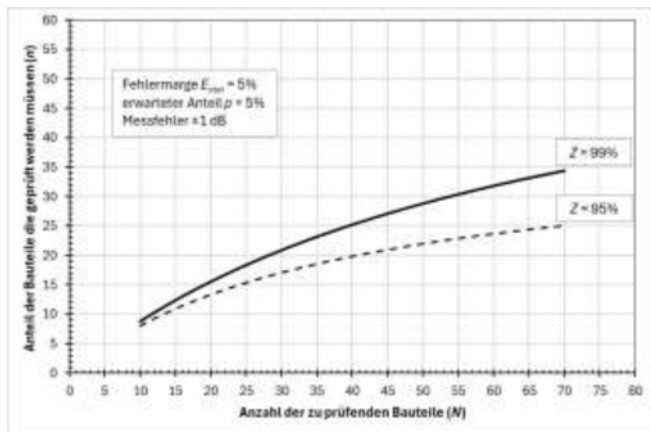


Abbildung 5: Stichprobengröße (n) in Abhängigkeit der Aussagewahrscheinlichkeit für eine statistische Fehlermarge von $E_{\text{stat}} = 5\%$ und einem Messfehler von ± 1 dB mit einem erwarteten Anteil von $p = 5\%$

Zusammenfassende Interpretation der Ergebnisse

Nachstehend sind die Ergebnisse wie folgt zusammengefasst:

- Die berechnete Messanzahl stellt eine Mindestanzahl dar.
- Mit zunehmender Gebäudegröße (Anzahl der Wohnungen) steigt die erforderliche Stichprobe nur noch geringfügig an.
- Die 99%-Konfidenz erfordert systematisch mehr Messungen als 95% Konfidenz (Vertrauensniveau).
- Bei Messwerten in Grenznähe (z. B. 52–54 dB, bei einem Soll-Wert von 53 dB) sollte immer eine Nachmessung durchgeführt werden.
- Für eine rechtssichere Auslegung sollte eine konservative Alternative angewendet werden, d.h. die Anforderungsschwelle sollte erhöht werden (z. B. akzeptieren von ≥ 55 dB statt 53 dB) oder es werden alle Wohnungen vollständig gemessen. Beides reduziert das Risiko, durch Messunsicherheit falsche Aussagen zu treffen.
- Bei bekannten Ausführungsabweichungen oder auffälligen Messergebnissen kann eine Erweiterung der Stichprobe erforderlich sein.
- Die Stichprobenplanung ersetzt keine Vollprüfung bei begründetem Verdacht auf systematische Mängel.

Hinweise zur Entscheidungsfindung

- Die Diagramme liefern Mindestwerte.
- Bei erhöhtem Risiko, bekannten Ausführungsabweichungen oder rechtlichen Fragestellungen wird empfohlen, zusätzliche Messungen einzuplanen.
- Die Wahl eines geringeren Messfehlers kann den erforderlichen Messumfang deutlich reduzieren.

Fazit

Die Stichprobenplanung zur Reduzierung des Messaufwandes stellt ein geeignetes Mittel dar, um wirtschaftlich Ergebnisse repräsentativ für das ganze Gebäude in statistischer Hinsicht erzielen zu können. Die erforderliche Messanzahl steigt nicht linear mit der Gebäudegröße. Ab mittleren Gebäudegrößen nimmt der zusätzliche Messaufwand nur noch geringfügig zu. Bei einer kleinen Grundgesamtheit (wenige Wohnungen) ist es aber oft nicht sinnvoll den Messaufwand zu begrenzen und durch eine Stichprobe die Gesamtheit abzuschätzen. Bei großer Grundgesamtheit (sehr viele Wohnungen) kann es aber durchaus sinnvoll sein, den Messumfang zu begrenzen und durch eine sorgfältige Stichprobenplanung den Messaufwand hinreichend zu reduzieren. Je höher die gewünschte Genauigkeit liegt, desto größer muss der Stichprobenumfang sein. Die Aussagewahrscheinlichkeit wird üblicherweise mit 95% angegeben; sie ergibt sich statistisch aus der Normalverteilung. Diagramme stellen eine kompakte, visuelle Zusammenfassung der Stichprobenplanung dar und ermöglichen:

- eine schnelle Abschätzung des Messaufwandes
- eine transparente Kommunikation gegenüber Bauherren, Prüfern und Behörden,
- eine nachvollziehbare Begründung der gewählten Stichprobengröße.

Der Anwendungsbereich dieser Methodik eignet sich insbesondere für:

- Qualitätssicherung im Wohn- und Verwaltungsbau
- Abnahmeprüfungen nach DIN-Schallschutzanforderungen
- Gutachterliche Stichprobenbewertungen
- Projektbezogene Prüfkonzeppte mit begrenztem Messaufwand

Literatur

- [1] Cochran, W.G. Sampling Techniques. 3rd Edition. Wiley, New York (1977). ISBN: 978-0-471-16240-7
- [2] JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition 2008. Corrected version 2010. [DOI:10.59161/JCGM100-2008E](https://doi.org/10.59161/JCGM100-2008E)
- [3] Lohr, S.L. Sampling: Design and Analysis. 3rd Edition. Chapman and Hall, New York (2021). [DOI:10.1201/9780429298899](https://doi.org/10.1201/9780429298899)
- [4] Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. 10th Edition. Wiley, New York (2019). ISBN: 978-1-119-49244-3
- [5] Bode, E. Grundwissen in Statistik: e. praxiserprobtes leichtverständl. Kurzlehrbuch über Statistik als Hilfswiss., Reinhardt, München Basel (1977). ISBN: 3-497-00842-7
- [6] DIN EN ISO 12999-1:2021-04. Akustik – Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik - Teil 1: Schalldämmung, DIN Media. Berlin.
- [7] Knaub, J. (2008). Finite population correction (FPC) factor. In P. Lavrakas (Ed.), Encyclopedia of Survey Research Methods. (pp. 284-286). SAGE Publications, Inc. [DOI:10.4135/9781412963947.n191](https://doi.org/10.4135/9781412963947.n191)