

# Stichprobenkontrolle in der Bauakustik

Autor(en): **Ringger, Markus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **114 (1996)**

Heft 24

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78990>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Markus Ringger, Basel

## Stichprobenkontrolle in der Bauakustik

**Vor einiger Zeit wurde im SI+A (Nr. 17/94) ausgiebig die Norm SIA 181 erörtert. Es wurde darin erwähnt, dass vor allem der Kontrolle von Bauteilen am Bau besondere Bedeutung zukommt. Der Zeit- und Kostenaufwand, jedes einzelne Bauteil zu prüfen, wäre indes vor allem bei grösseren Überbauungen enorm. Darum wird richtigerweise meist stichprobenartig vorgegangen. Es ist aber nicht ganz klar, nach welchen Kriterien der Stichprobenumfang festgelegt wird, und welches Risiko man durch die ungeprüften Bauteile eingeht.**

Diese Fragen berühren indes ein wohlbekanntes Gebiet der Statistik: die statistische Qualitätskontrolle. Im folgenden soll aufgezeigt werden, wie statistische Methoden helfen können, eine Stichprobenkontrolle durchzuführen und zu bewerten. Dabei kommt der richtigen Verständigung zwischen Bauherrn und Unternehmer eine besondere Bedeutung zu. Es ist wichtig, klar die Begriffe und Risiken zu definieren.

### Statistische Qualitätskontrolle

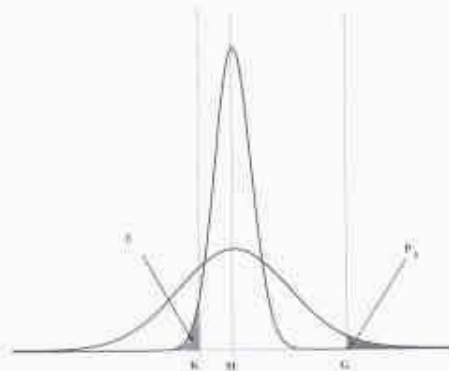
Wenn man eine Menge von  $N$  Bauteilen hat, zum Beispiel Unterlagsböden, die vom gleichen Hersteller am gleichen Bau stammen, dann ist klar, dass diese Böden nicht alle genau den gleichen Norm-Trittschallpegel aufweisen werden. Der bewertete Norm-Trittschallpegel wird von Boden zu Boden variieren, d.h., die Werte streuen um einen Mittelwert. Die Breite der Streuung wird als Varianz bezeichnet. Dabei ist noch zu vermerken, dass die Norm SIA 181 Grenzwerte für den bewerteten Standard-Trittschallpegel  $L'_{01,25}$  bzw. die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{01,25}$  definiert. Diese berücksichtigen die geometrischen Gegebenheiten des Bauprojekts. Für die Statistik darf aber nur das Bauteil selbst, unabhängig von den Einbaubedingungen, betrachtet werden. Für eine Stichprobenkontrolle ist damit der bewertete Norm-Trittschallpegel  $L'_{01,25}$  bzw. das bewertete Bauschalldämmmass  $R'_{01,25}$  massgebend.

Eine Stichprobenkontrolle beinhaltet immer das Risiko, dass einige ungeprüfte

Bauteile die Anforderungen nicht erfüllen. Es ist nun die Kunst der Statistik, die Anforderungen an die Stichprobenkontrolle so zu formulieren, dass die Kontrolle effizient und kostengünstig durchgeführt werden kann und dass die statistischen Risiken klar definiert werden. Es liegt dann beim Anwender, einen vernünftigen Kompromiss zwischen Kosten und Risiko zu finden.

Dies sei anhand der Grafik (1) gezeigt: Die Grundgesamtheit der Bauteile, im weiteren Lieferung genannt, sei gaussverteilt, mit dem unbekanntem Mittelwert  $M$  und der bekannten Varianz  $\sigma$  (breitere Kurve). Der Einfachheit halber definiert man diesen Mittelwert in Relation zum Grenzwert  $G$ , und zwar über die Wahrscheinlichkeit  $P_\beta$ . Dies ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein beliebig aus der Lieferung herausgegriffenes Element den Grenzwert überschreitet. Man bezeichnet dies auch als Qualitätslage der Lieferung.

Ein Konsument fordert nun, dass er die Lieferung nur annimmt, falls der über eine Stichprobe vom Umfang  $n$  gemessene Mittelwert  $M'$  kleiner gleich  $K$ , einem im weiteren zu definierenden Wert, ist. Er muss dabei akzeptieren, dass ein Bauteil mit einer Wahrscheinlichkeit von  $P_\beta$  die Anforderung nicht erfüllt. Dieser gemessene Mittelwert  $M'$  streut aber selbst um



1  
Schematische Darstellung einer einfachen Stichprobenkontrolle  
Breite Kurve: Verteilung der Lieferung  
Schmale Kurve: Verteilung des gemessenen Mittelwertes  
G: Grenzwert  
M: wahrer Mittelwert der Lieferung  
K: Annahmegrenze. Die Kontrolle ist erfüllt, falls  $M' \leq K$   
 $\beta$ : Konsumentenrisiko  
 $P_\beta$ : Qualitätslage der Lieferung

den wahren Mittelwert  $M$ , und zwar mit der Varianz  $\sigma/\text{SQRT}(n)$  (schmale Kurve). Würde man einfach fordern, dass  $M' \leq K = M$ , so würde der Konsument ein Risiko von 50% eingehen, dass er die Lieferung annehmen muss, obwohl sie die Anforderung nicht erfüllt. Man spricht vom sogenannten Konsumentenrisiko, bzw. in der Statistik von einem Fehler zweiter Art. Deshalb muss die Anforderung an den gemessenen Mittelwert  $M'$  verschärft werden. Man definiert die Annahmegrenze  $K$  so, dass die Wahrscheinlichkeit höchstens  $\beta$  beträgt, dass die Lieferung angenommen wird, obwohl die Anforderung nicht erfüllt ist.

Formell gilt also für ein Bestehen des Tests:

$$M' \leq K(n) = G + \sigma [U(\beta)/\sqrt{n} + U(P_\beta)] \quad \text{Gl. (1)}$$

$U$  ist dabei die Quantile der normalisierten Gaussverteilung.

Viele Stichprobenpläne basieren mehr oder weniger auf diesem Konzept.

### Anwendung auf die Bauakustik

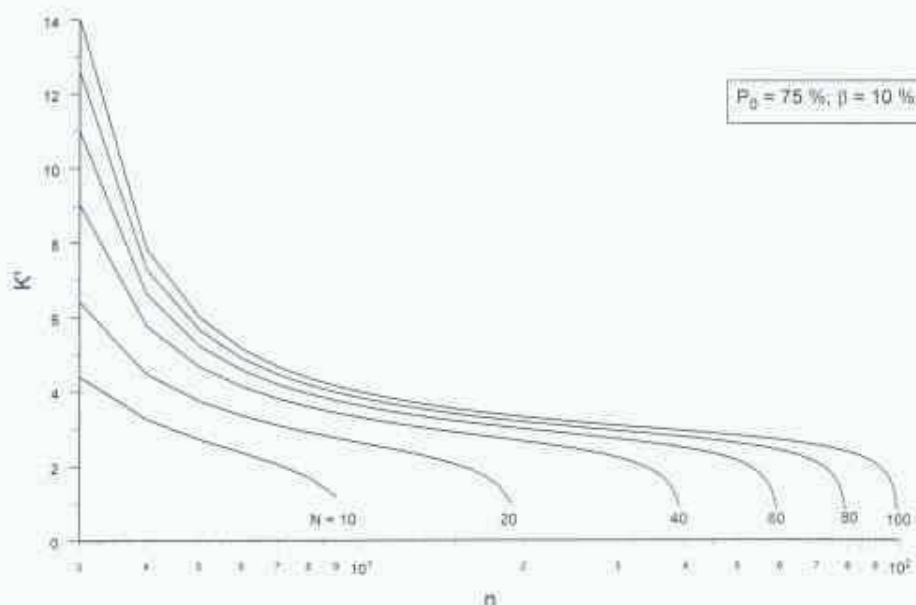
Im Gegensatz zum obigen Konzept haben wir bei einem ausgeführten Bauobjekt andere Verhältnisse:

- Neben dem Mittelwert  $M$  ist auch die Varianz  $\sigma$  unbekannt
- Der Umfang  $N$  der Lieferung kann sehr klein sein, d.h. wenn eine Prüfung gemacht wird, kann die Anzahl der geprüften Bauteile  $n$  zu den ungeprüften ( $N-n$ ) nicht mehr vernachlässigt werden.

Es gilt nun, für bauakustische Kontrollmessungen an einem Objekt den Stichprobenumfang und das Testverfahren zu bestimmen. Aus den oben formulierten Gründen werden andere Definitionen vorgeschlagen:

Die Qualitätslage wird nicht mehr mittels der Wahrscheinlichkeit  $P_\beta$  definiert, dass ein ungeprüftes Bauteil die Anforderung nicht erfüllt. Wir geben neu die Wahrscheinlichkeit  $P_0$  vor, dass alle ( $N-n$ ) ungeprüften Bauteile die Anforderung erfüllen. D.h., am Ende des Testes soll der Bauherr wissen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von  $P_0$  alle restlichen ( $N-n$ ) ungeprüften Bauteile gut sind. Wir wollen diese Wahrscheinlichkeit als Sicherheit bezeichnen.

Da die Varianz  $\sigma$  unbekannt ist, muss sie durch die Standardabweichung  $s$  geschätzt werden. Deshalb muss anstelle der Gaussverteilung die sogenannte  $t$ -Verteilung verwendet werden. Diese Verteilung



ist abhängig von der Anzahl der Freiheitsgrade  $f = (n-1)$  und geht für  $n \rightarrow \infty$  in die Gaußverteilung über.

Sei nun die Wahrscheinlichkeit, dass ein zufällig herausgegriffenes Bauelement gut ist, gleich  $P$ , dann beträgt die Sicherheit, dass alle Ungeprüften zusammen gut sind,  $P_0 = P^{(N(n))}$ . Damit ergibt sich für das Bestehen des Testes analog zu Gl. (1) folgendes:

$$M' \leq K(N, n) = G + s \cdot [T_{\alpha, (n-1)} / K + T_{\beta, (n-1)} \cdot (s^2 / K^2)] \quad \text{Gl. (2)}$$

$T$  ist dabei die Quantile der normalisierten  $t$ -Verteilung und  $s$  die Standardabweichung. Vereinfachend kann auch geschrieben werden:

$$M' \leq K(N, n) = G + s \cdot K' \quad \text{Gl. (2')}$$

In (2) ist der Wert  $K'$  für  $P_0 = 75\%$  und  $\beta = 10\%$  dargestellt.

### Beispiel

Bei einer Überbauung mit  $N = 60$  Unterlagsböden sollte der Trittschallschutz überprüft werden. Der Bauherr wollte soweit geprüft haben, dass die Sicherheit  $P_0 = 75\%$  beträgt. Das Konsumentenrisiko sollte  $\beta = 10\%$  betragen.

Nach SIA 181 betrug der Grenzwert für den ungünstigsten Fall  $L'_{u,w} = 51$  dB (erhöhte Anforderungen), es konnte aufgrund des Aufbaus ein  $L'_{u,w}$  von 40 dB erwartet werden, und es wurde eine Standardabweichung von 2 dB angenommen. Aufgrund von Gl. (2) wurden so dem Bauherrn sieben Messungen offeriert.

Für das Bestehen der Stichprobenkontrolle muss demnach nach Gl. (2) gelten:  $M' \leq K(60, 7) = 51 - 8.4 = 42.6$  dB

Die durchgeführten Messungen ergaben nun folgendes:

- Gemessener Mittelwert  $M' = 41.4$  dB
- Standardabweichung  $s = 1.3$  dB

- Alle gemessenen Böden erfüllten den Grenzwert auch einzeln

Damit war die Kontrolle erfüllt, und der Bauherr konnte sicher sein, dass mit einem Risiko von 10% alle restlichen 53 Böden mit einer Sicherheit von 75% gut sind.

### Diskussion

Es ist anzumerken, dass eine Stichprobenkontrolle erfüllt sein kann, ohne dass alle gemessenen Bauteile den Grenzwert individuell erfüllen. Da es sich hier um Statistik handelt, kommt es nur auf die Gesamtheit und nicht auf individuelle Werte an. Es war im obigen Beispiel vereinbart worden, dass, falls nach sieben Messungen die Kontrolle nicht bestanden worden wäre, die Kontrolle auf Kosten des Unternehmers aufgrund des gemessenen Mittelwertes und der Standardabweichung erweitert worden wäre.

Im Gegensatz zu sogenannten sequentiellen Stichprobenkontrollen, wo unter gleichzeitiger Vorgabe von Konsumenten- und Produzentenrisiko geprüft wird, bis eine Ablehngrenze oder Annahmegrenze überschritten wird, gibt es bei obiger Stichprobenkontrolle im eigentlichen Sinn keine Ablehngrenze und auch kein Produzentenrisiko. Das einzige statistische Risiko des Unternehmers besteht darin, dass er zusätzliche Messungen bezahlen muss, nötigenfalls  $n = N$  Messungen. Wenn man eine Ablehngrenze definieren würde, so würde am Bau im Ge-

### Literatur

- Brandl, Siegmund: Datenanalyse, B.I. - Wissenschaftsverlag, 1975  
 Rinow / Mittag: Statistische Methoden der Qualitätssicherung, Hanser, 1991  
 Stichprobenpläne für quantitative Merkmale, Beuth, 1980

### 2.

Grafische Darstellung der Gl. (2') im Text. Aus dem Umfang der Lieferung  $N$  und der Anzahl geprüfter Bauteile  $n$  kann herausgelesen werden, wie gross der Abstand  $K'$  (normiert in Bezug auf die Standardabweichung) zum Grenzwert sein muss, um die Kontrolle zu erfüllen

gensatz zur Industrie das Ablehnen der Lieferung kaum zu einem Auswechseln der ganzen Lieferung führen - dazu ist das Produkt (Fenster, Böden, Trennwände usw.) zu teuer, bzw. ein Auswechseln ist unmöglich (tragende Wände) - sondern lediglich zur Sanierung der schadhafte Teile. Der Unternehmer muss in einem solchen kritischen Fall sowieso jedes Bauteil testen lassen, um die fehlerhaften Bauteile zu bestimmen. Deshalb macht eine Ablehngrenze auch keinen grossen Sinn.

### Zusammenfassung

Mit dem Vollzug der Norm SIA 181 und dem allgemein gewachsenen Anforderungen an die Qualitätssicherung im Bauwesen stellen wir ein Modell vor, wie eine Stichprobenkontrolle in der Bauakustik vorgenommen werden kann. Wir gehen dabei davon aus, dass die Kosten für die Messungen minimiert werden sollten.

Das Testverfahren ist wie folgt definiert:

- Bestimmen des Konsumentenrisikos  $\beta$
- Bestimmen der Sicherheit  $P_0$
- Bestimmen der Anzahl Messungen  $n$  mittels Gl. (2) aufgrund des zu erwartenden Mittelwertes und der zu erwartenden Standardabweichung
- Durchführen der  $n$  Messungen und Vergleichen des gemessenen Mittelwertes  $M'$  mit der Annahmegrenze  $K$
- Falls der Test nicht bestanden ist, Wiederholen des Verfahrens ab Punkt 3, jetzt mit einer besseren Schätzung des Mittelwertes und der Standardabweichung. Durchführen weiterer Messungen auf Kosten des Lieferanten

In Hinblick darauf, dass auch von den Behörden vermehrt der Schallschutz innerhalb von Gebäuden überprüft wird, wäre es wünschenswert, wenn unter der Leitung der Kommission für die Norm SIA 181 allgemein gültige Regeln für das Konsumentenrisiko und die Sicherheit definiert würden. Es geht dabei vor allem auch um eine gewisse Rechtssicherheit.

Adresse des Verfassers:

Markus Ringger, Dr. phil. II, Phys. SIA, Gysin & Ehsam AG, 4056 Basel