

ICS 17.140.01

**Leitfaden zum Umgang mit der Unsicherheit in der Akustik und
Schwingungstechnik –
Teil 1: Unsicherheit akustischer Kenngrößen**

Guide for handling uncertainty in acoustics and vibration –
Part 1: Uncertainty of acoustical quantities

Guide pour traiter l'incertitude en acoustique et vibrations –
Partie 1: L'incertitude des quantités acoustiques

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln eines Fachberichts erstellt.

Gesamtumfang 62 Seiten

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Begriffe	6
3 Akustische Kenngrößen	8
4 Ermittlung der Unsicherheit	9
4.1 Unsicherheitsermittlung durch Modellbildung.....	9
4.2 Ermittlung der Unsicherheit aus Ringversuchen	9
4.3 Ermittlung von Unsicherheiten aus Erfahrungswerten	10
4.3.1 Allgemeines	10
4.3.2 Eingangsdaten für Prognosen	10
5 Ergebnisdarstellung	11
6 Verwendung von Unsicherheiten	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Behandlung der Unsicherheit als Zu- bzw. Abschlag	12
6.3 Verwendung von Unsicherheitsklassen.....	12
Anhang A Messunsicherheit eines Terz-Schalldruckpegels in reflexionsarmer Umgebung	14
A.1 Messaufgabe	14
A.2 Modell.....	14
A.3 Unsicherheitsbeiträge und kombinierte Unsicherheit	14
A.4 Kombinierte Unsicherheit	15
A.5 Angabe der Messergebnisse	15
Anhang B Unsicherheiten bei der Fremdgeräuschkorrektur	16
B.1 Allgemeines zur Berücksichtigung des Fremdgeräuscheinflusses bei der Bestimmung von quellenbezogenen akustischen Kenngrößen bzw. Kennwerten und deren Unsicherheit	16
B.2 Bestimmung des fremdgeräuschkorrigierten Mittelungspegels aus der Messung des Gesamt- und Fremdgeräuschs.....	16
B.2.1 Voraussetzung	16
B.2.2 Modellfunktion	16
B.2.3 Gesamt- und fremdgeräuschbezogene Sensitivitätskoeffizienten.....	17
B.2.4 Kombinierte Standardunsicherheit.....	17
B.3 Zur Bestimmung von Unsicherheiten des Messergebnisses diskontinuierlich emittierender Schallquellen im Freien, verursacht durch Fremdgeräusche	18
B.4 Zu den Randbedingungen	19
B.5 Zur Dokumentation der Unsicherheiten	20
Anhang C Unsicherheiten bei der Bestimmung der Schallemissionskenngröße Schalleistungspegel	21
C.1 Allgemeines	21
C.2 Unsicherheitsermittlung durch Modellbildung.....	22
C.3 Ermittlung der Unsicherheit aus Ringversuchen	23
C.4 Beispiel	23
Anhang D Unsicherheiten bei der Messung des Lärms am Arbeitsplatz — Beispiel zur Ermittlung der Messunsicherheit des Lärmexpositionspegels bei tätigkeitsbezogenen Messungen nach DIN EN ISO 9612	24
D.1 Einleitung.....	24
D.2 Grundlagen der Berechnung	24

D.2.1	Einflussfaktoren	24
D.2.2	Unsicherheit bei der Erfassung der längerfristig typischen Lärmexposition	25
D.2.3	Unsicherheit der Messgeräte	25
D.2.4	Unsicherheit aufgrund der Mikrofonposition	26
D.2.5	Ermittlung der erweiterten kombinierten Unsicherheit für die tätigkeitsbezogene Messung	26
D.3	Beispiel zur Berechnung des Tages-Lärmexpositionspegels und der Messunsicherheit für tätigkeitsbezogene Messungen	29
D.3.1	Schritt 1: Arbeitsanalyse	29
D.3.2	Schritt 2: Auswahl der Strategie	29
D.3.3	Schritt 3: Messungen	29
D.3.4	Schritt 4: Fehlerbetrachtung	30
D.3.5	Schritt 5: Berechnung und Darstellung der Ergebnisse und der Unsicherheit	30
D.3.6	Ergebnisse	32
Anhang E Unsicherheiten bei der Ermittlung des Schalldämm-Maßes von Bauteilen im Prüfstand		33
E.1	Messprinzip	33
E.2	Unsicherheitsermittlung durch Modellbildung	33
E.3	Ermittlung der Unsicherheit aus Ringversuchen	33
E.4	Beispiel	34
Anhang F Unsicherheiten bei Immissionsmessungen — Beispiele		35
F.1	Unsicherheit messtechnisch erhobener akustischer Größen zur Kennzeichnung von Geräuschimmissionen	35
F.1.1	Unsicherheitsrelevante Randbedingungen	35
F.1.2	Beispiel Immission	36
Anhang G Verwendung von Vorwissen zur Bestimmung von Unsicherheiten		42
G.1	Ermittlung der Unsicherheiten aus Erfahrungswerten	42
G.2	Anwendung von Vorwissen bei Immissionsmessungen bei größeren Stichprobenumfängen	43
G.2.1	Vorbemerkung	43
G.2.2	Invariante Systemgröße zu Bestimmung der Unsicherheit	43
Anhang H Unsicherheiten bei Immissionsprognosen — Rechenbeispiel zur Ermittlung der Unsicherheit		46
H.1	Gesamtpegelberechnung: Punkt-zu-Punkt-Immissionsprognose	46
H.2	Beispiel zur Bestimmung der Ergebnisunsicherheit des Beurteilungspegels einer Immissionsprognose	49
H.2.1	Aufgabe	49
H.2.2	Modell	56
H.2.3	Unsicherheitsbeiträge	56
H.2.4	Kombinierte Unsicherheit	58
H.2.5	Angabe des Messergebnisses	58
Literaturhinweise		59

Vorwort

Eine DIN SPEC nach dem Verfahren eines Fachberichtes ist ein Sachstandsbericht, der Erkenntnisse, Daten usw. aus Normungsvorhaben enthält, die der Information über den Stand der Normung – auch anderer internationaler und regionaler Normungsorganisationen – dient und der bei späteren Normungsarbeiten als Grundlage herangezogen werden kann.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN und DKE sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Eine DIN SPEC (Fachbericht) ist das Ergebnis eines DIN-Arbeitsgremiums oder die Übernahme eines europäischen oder internationalen Arbeitsergebnisses. DIN SPEC (Fachbericht) dienen der Sicherung einmal gewonnener Daten und Erkenntnisse, indem sie die Arbeitsergebnisse der Normungsarbeit dokumentieren, die nicht als Norm oder DIN SPEC (Vornorm) herausgegeben werden sollen.

Eine DIN SPEC (Fachbericht) wird nach den Regeln der DIN 820 erarbeitet. Über die Herausgabe einer DIN SPEC (Fachbericht) entscheidet der zuständige Arbeitsausschuss des DIN.

Dieses Dokument wurde vom Ausschuss NA 001 BR-03 SO „Unsicherheit akustischer Größen“ im Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI erarbeitet.

Einleitung

Dieses Dokument entstand auf Anregung des Beirats des „Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik“ (NALS) im DIN und VDI. Es beinhaltet eine Anleitung zur Ermittlung der Unsicherheiten von gemessenen oder prognostizierten akustischen Kenngrößen sowie zur Verwendung der Unsicherheiten beim Vergleich mit Anforderungswerten.

1 Anwendungsbereich

Die in diesem Dokument bereitgestellten Informationen und Verfahrenshinweise finden bei der Erarbeitung von Normen auf akustischem Gebiet, wie Normen zur Schallemission, Schallimmission, Bauakustik, akustischen Produktmerkmalen, akustischen Messgeräten, Berücksichtigung.

2 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1

Unsicherheit

(en: uncertainty)

dem Ergebnis einer Messung oder Berechnung zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der gemessenen oder berechneten Größe zugeordnet werden können

2.2

Standardunsicherheit

(en: standard uncertainty)

u

als Standardabweichung ausgedrückte Unsicherheit des Ergebnisses einer Messung oder Berechnung

2.3

kombinierte Standardunsicherheit

(en: combined standard uncertainty)

u_c

Standardunsicherheit eines Messergebnisses oder Prognoseergebnisses, wenn dieses Ergebnis aus den Werten einer Anzahl anderer Größen gewonnen wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie ist gleich der positiven Quadratwurzel einer Summe von Gliedern, wobei die Glieder Varianzen oder Kovarianzen dieser anderen Größen sind, gewichtet danach, wie das Messergebnis oder Prognoseergebnis mit Änderungen dieser Größen variiert.

[QUELLE: DIN V ENV 13005:1996-06, 2.3.4, modifiziert – „oder Prognoseergebnisses“ wurde hinzugefügt, zusätzliche Informationen wurden in Anmerkung 1 zum Begriff aufgenommen.]

2.4

Erweiterungsfaktor

(en: coverage factor)

k

Zahlenfaktor, mit dem die kombinierte Standardunsicherheit multipliziert wird, um eine erweiterte Ergebnisunsicherheit zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Erweiterungsfaktor k siehe Abschnitt 5, Tabelle 1.

[QUELLE: DIN V ENV 13005:1996-06, 2.3.6, modifiziert – „Messunsicherheit“ wurde durch „Ergebnisunsicherheit“ ersetzt.]

2.5

erweiterte Ergebnisunsicherheit

(en: expanded result uncertainty)

U

Kennwert, der einen Bereich um das Ergebnis kennzeichnet, von dem erwartet werden kann, dass er einen großen Teil der Werte umfasst, die der gemessenen oder berechneten Größe vernünftigerweise zugeordnet werden können

[QUELLE: DIN V ENV 13005:1996-06, 2.3.5, modifiziert – „Anteil der Verteilung der Werte umfasst, die der Messgröße“ wurde durch „Teil der Werte umfasst, die der gemessenen oder berechneten Größe“ ersetzt.]

2.6**Vergleichbedingungen**

(en: reproducibility conditions)

Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens an identischen Untersuchungsobjekten an verschiedenen Orten durch verschiedene Personen mit verschiedenen Geräteausrüstungen

[QUELLE: DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.18, modifiziert – „Labore“ erweitert auf „Orte“]

2.7**Vor-Ort-Bedingungen**

(en: in-situ conditions)

Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens an identischen Untersuchungsobjekten am selben Ort durch verschiedene Personen mit verschiedenen Geräteausrüstungen

2.8**Wiederholbedingungen**

(en: repeatability conditions)

Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens am identischen Untersuchungsobjekt am selben Ort durch dieselben Personen mit derselben Geräteausrüstung in kurzen Zeitabständen

[QUELLE: DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.14, modifiziert – „Labore“ erweitert auf „Orte“]

2.9**Vergleichstandardabweichung**

(en: reproducibility standard deviation)

 σ_R

Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, gewonnen unter Vergleichbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Formelzeichen σ bezeichnet in diesem Dokument sowohl die Standardabweichung einer Grundgesamtheit als auch die Standardabweichung einer Stichprobe. Die Zuordnung ergibt sich aus dem Zusammenhang.

[QUELLE: DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.19]

2.10**Vor-Ort-Standardabweichung**

(en: in-situ standard deviation)

 σ_{situ}

Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, gewonnen unter Vor-Ort-Bedingungen

2.11**Wiederholstandardabweichung**

(en: repeatability standard deviation)

 σ_r

Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, gewonnen unter Wiederholbedingungen

[QUELLE: DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.15]

2.12**Standardabweichung für die Instabilität der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen** σ_{OMC}

Standardabweichung von Messergebnissen, die bei Variation nur der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen oder bei Variation nur der Einbaubedingungen ermittelt wurden

BEISPIEL Die Variation nur der Betriebs- und Aufstellungsbedingungen kann bei Schallleistungspegeln von Maschinen oder die Variation nur der Einbaubedingungen bei bauakustischen Kenngrößen von Relevanz sein.

2.13

Produkt-Standardabweichung

σ_p

Standardabweichung von Messergebnissen, die an verschiedenen Exemplaren des nominell identischen Produkts ermittelt wurden

BEISPIEL Verschiedene Exemplare eines nominell identischen Produkts können Maschinen aus einem Los sein.

2.14

Anforderungswert

(en: specified/requirement value)

Y_{anf}

ein gesetzlich oder anderweitig geforderter Wert für eine akustische Kenngröße

Anmerkung 1 zum Begriff: Statt Anforderungswert wird häufig auch Grenzwert, Auslösewert, Richtwert oder Garantiewert verwendet.

2.15

Variationskoeffizient

(en: coefficient of variation)

Z

Quotient aus Standardabweichung σ und dem Mittelwert $\bar{x}$

Anmerkung 1 zum Begriff: Gilt unter der Voraussetzung, dass alle Einzelelemente der Stichprobe positiv sind.

Anmerkung 2 zum Begriff: Häufig wird der Variationskoeffizient in % angegeben.

3 Akustische Kenngrößen

Akustische Kenngrößen dienen allgemein zur Beschreibung der Entstehung, Übertragung und Einwirkung von Schall. Zu unterscheiden sind direkt messbare Feldgrößen wie der Schalldruckpegel und aus Feldgrößen und evtl. weiteren Größen errechnete Größen wie der Mittelungspegel, die Schalldämmung, der Schallleistungspegel, der Immissionspegel oder der Absorptionsgrad. Mit akustischen Kenngrößen können einzelne Produkte aber auch komplexe akustische Situationen charakterisiert werden.

Die meisten akustischen Kenngrößen sind Pegelgrößen in dB. Für das Schalldämm-Maß [1] und den Schallleistungspegel [2] konnte durch Auswertung von Ringversuchen gezeigt werden, dass sie einer Normalverteilung gehorchen. Für Pegelgrößen wird daher eine Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen im dB-Maßstab im Allgemeinen empfohlen. Bei linearen Größen wie Nachhallzeiten oder Absorptionsgraden sollten die Berechnungen dagegen in physikalischen Einheiten durchgeführt werden.

ANMERKUNG Bei der simultanen Überlagerung von Schalleinwirkungen aus verschiedenen Quellen werden die Schalldruckquadrate und nicht die Schalldruckpegel addiert. Hierbei können sich Verteilungen einstellen, die deutlich von der Normalverteilung abweichen.

Akustische Kenngrößen werden in den zugehörigen Normen und anderweitigen Vorschriften meist exakt definiert. So ist z. B. das Schalldämm-Maß der zehnfache dekadische Logarithmus des Verhältnisses von auftretender zu durchgelassener Schallleistung. Neben dieser theoretischen Definition existiert auch eine implizite Definition durch die konkrete Handlungsanweisung zur Ermittlung der Kenngröße. Eine Befolgung der Norm bzw. anderweitigen Vorschrift führt zu einem Zahlenwert, der der Kenngröße beigemessen wird.

4 Ermittlung der Unsicherheit

4.1 Unsicherheitsermittlung durch Modellbildung

Ein detailliertes Unsicherheitsbudget auf der Grundlage eines vollständigen Modells des Mess- und Prognoseverfahrens ist aus verschiedenen Gründen anzustreben. Ein Grund ist, dass ein solches Budget verwendet werden kann, um die wichtigsten Unsicherheitsbeiträge zu ermitteln und ggf. zu reduzieren. Weiterhin spiegelt die durch ein solches Modell ermittelte Unsicherheit die konkreten Bedingungen wider, die bei der Bestimmung der Kenngröße tatsächlich vorlagen. Damit ist sie individuell an die Kenngröße angepasst. Dieser Abschnitt gibt eine Anleitung, wie solche Unsicherheitsbudgets ermittelt werden können.

Werte von akustischen Kenngrößen werden durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Dies können sein:

- Prüfmittel;
- zeitliche und spektrale Struktur des Schallereignisses;
- unvollkommene räumliche oder zeitliche Mittelung;
- Fremdgeräusch;
- meteorologische Bedingungen wie Luftdruck-, -temperatur, -feuchte, Wind;
- Charakter der Schallfelder, z. B. Reflexionen und Streuungen.

Die Kenngröße Y wird aus N Eingangsgrößen $X_1, X_2, \dots, X_N$ durch eine funktionale Beziehung f

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (1)$$

berechnet. Jede der Eingangsgrößen ist durch eine Verteilungsdichtefunktion charakterisiert. Der Erwartungswert (Mittelwert) der Eingangsgrößen dient als bester Schätzwert für den Wert der Eingangsgröße und ihre Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Werte, das hier Unsicherheit genannt wird.

Für den Fall vernachlässigbarer Korrelation zwischen den Eingangsgrößen berechnet sich die kombinierte Standardunsicherheit der Realisierung der Kenngröße y nach folgender Gleichung

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)} \quad (2)$$

wobei $u(x_i)$ die Standardunsicherheit des Schätzwerts x_i ist. Die Sensitivitätskoeffizienten c_i berechnen sich aus den partiellen Ableitungen der Funktion f aus Gleichung (1) nach den Eingangsgrößen x_i .

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (3)$$

Beispiele für eine vollständige Modellierung eines Mess- und Prognoseverfahrens sind in den Anhängen A, C, E, F und G gegeben.

4.2 Ermittlung der Unsicherheit aus Ringversuchen

Für viele akustische Kenngrößen lässt sich ein funktionaler Zusammenhang zwischen einem Mess- oder Berechnungsergebnis und den zugehörigen Einflussgrößen derzeit nicht aufstellen. In diesen Fällen können Vergleich- und Wiederholstandardabweichungen als Schätzwert der kombinierten Standardunsicherheit dienen. Das grundlegende Konzept und das Verfahren zur Ermittlung dieser Standardabweichungen sind in DIN ISO 5725-1 und DIN ISO 5725-2 angegeben. Beide Standardabweichungen werden in Ringversuchen ermittelt, an denen so viele Laboratorien wie möglich teilnehmen sollten, um verlässliche Ergebnisse zu bekommen. Die Wiederhol- und Vergleichstandardabweichungen beschreiben die mit einem Verfahren verknüpfte kombinierte Standardunsicherheit. Allen Ergebnissen, die unter Einhaltung der festgelegten Prozedur ermittelt wurden, wird diese kombinierte Standardunsicherheit beigemessen.

Die Mess- oder Berechnungsprozedur, deren Vergleich- bzw. Wiederholstandardabweichung ermittelt werden soll, muss exakt beschrieben werden, z. B. in einer Norm. Jedes teilnehmende Labor sollte die Prozedur so anwenden, dass bei den Wiederholungsmessungen die im Rahmen der Prozedur möglichen Spielräume so weit wie möglich ausgenutzt werden. Insbesondere sollten z. B. bei Emissions- oder Schalldämmmessungen Schallquell- und Mikrofonpositionen für jede Wiederholung neu gewählt werden.

Die Mess- oder Berechnungsergebnisse dürfen von den teilnehmenden Laboratorien keiner Vorauswahl unterzogen werden.

Die Wahl des Versuchsobjekts für einen Ringversuch hängt nicht nur von der zu ermittelnden Messgröße ab, sondern auch von den spezifizierten Randbedingungen, wie z. B. Aufstellungs- und Betriebsbedingungen. Außerdem sind praktische Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Idealerweise sollte dasselbe Versuchsobjekt in allen Laboratorien verwendet werden, das am Ende des Ringversuchs im ersten Labor auf etwaige Änderungen untersucht wird. Es ist jedoch auch möglich, dass alle Teilnehmer nominell identische Versuchsobjekte erhalten, z. B. aus einem Produktionslos. In diesem Fall sollte ein Homogenitätstest vor und eventuell auch nach dem Ringversuch durchgeführt werden.

Die aus Ringversuchen ermittelte Vergleichstandardabweichung wird im Allgemeinen wie folgt verwendet:

$$u_c = \sigma_R \quad (4)$$

ANMERKUNG 1 Der Begriff „Ringversuch“ wird hier in gleicher Bedeutung wie der englische Fachbegriff „proficiency testing“ verwendet. Der englische Fachbegriff hat in der Normenreihe zur Konformitätsbewertung (DIN EN ISO/IEC 17000 und abgeleitete Normen) eine festgelegte Bedeutung. In der deutschen Übersetzung dieser Normen wurde für „proficiency testing“ der Begriff „Eignungsprüfung“ gewählt, u. a. in DIN EN ISO/IEC 17043. Der Begriff „Eignungsprüfung“ wird allerdings im deutschen Sprachraum auch in anderer Bedeutung verwendet, teilweise auch im gesetzlich geregelten Bereich, z. B. in der Norm DIN 4109-11. Deshalb wird in dieser Norm der Begriff „Ringversuch“ verwendet. Der Begriff „Ringversuch“ kommt in DIN EN ISO/IEC 17043 nicht vor. Nach der dort zur Verfügung gestellten Terminologie kann „Ringversuch“, falls erforderlich, durch „Eignungsprüfung mit sequentielltem Teilnahmeprogramm“ umschrieben werden.

ANMERKUNG 2 Im Englischen ist für Ringversuch auch interlaboratory test oder round robin test gebräuchlich.

ANMERKUNG 3 Es gibt Kenngrößen, für deren Bestimmung verschiedene Verfahren existieren. Systematische Unterschiede zwischen den Ergebnissen der gleichen Kenngröße, die nach verschiedenen Verfahren ermittelt wurden, werden mit Gleichung (4) nicht erfasst.

4.3 Ermittlung von Unsicherheiten aus Erfahrungswerten

4.3.1 Allgemeines

Der Bedarf für die Neu- oder Weiterentwicklung genormter Verfahren entsteht häufig durch Erfahrungen aus der Praxis. Diese Erkenntnisse können durch Systematisierung und Analyse zur Unterstützung der Normungsarbeit als Erfahrungswerte verwendet werden [3]. Zusätzliche Erkenntnisse lassen sich durch spezielle Voruntersuchungen gewinnen.

Dieses Vorwissen erlaubt eine Abschätzung der Unsicherheiten, die sich einem spezifischen Verfahren zuordnen lassen.

Wird ein spezifisches Verfahren genormt, so müssen die Rahmenbedingungen der Anwendung so praxisnah wie möglich definiert werden, damit die aus dem genannten Vorwissen ermittelten Unsicherheiten gültig sind.

Treten in der Anwendung Abweichungen vom normativ festgelegten Rahmen auf, so stellen die aus Erfahrungswerten bekannten Unsicherheiten eine Mindestabschätzung der Unsicherheit dar.

4.3.2 Eingangsdaten für Prognosen

Die Unsicherheit einer Prognose – z. B. nach DIN ISO 9613-2 oder TA Lärm [4] – setzt sich hauptsächlich zusammen aus der Kombination der Unsicherheiten der Quellenemission und der Ausbreitung der Geräusche von der Schallquelle zum Empfänger. Beim Vorliegen mehrerer Schallquellen ist die Überlagerung dieser Einwirkungen zu betrachten. Dabei handelt es sich um die nicht triviale Aufgabe der statistischen Überlagerung der Einwirkungen diverser Schallquellen, die untereinander einen meist unbekannten Korrelationsgrad aufweisen.

Beispiele für angemessene Vorgehensweisen bei solchen Aufgabenstellungen mit Angabe einer aussagefähigen Prognoseunsicherheit sind dem Anhang H zu entnehmen.

Generell können jedoch aus Feldstudien, aus besonderen systematischen Untersuchungen bei diversen speziellen Schallquellen (Industrie- und Gewerbelärm, Sportanlagen, Bergbauanlagen, usw.) und nicht zuletzt aus den VDI-Richtlinien: „Emissionskennwerte technischer Schallquellen“ [5] konkrete Daten zur Schallemission und damit verbundener Unsicherheiten vieler Schallquellen gewonnen werden. Häufig werden bei der Planung Sicherheitszuschläge berücksichtigt, so dass man erwarten kann, dass die Prognoserechnungen mit entsprechend angehobenen Eingangsdaten durchgeführt werden.

Diese Vorgehensweise enthebt jedoch nicht von der Anforderung, die Unsicherheit der Prognose zu bestimmen.

Die Eingangsdaten basieren entweder auf Messergebnissen oder auf Bemessungskurven.

Bemessungskurven setzen die Anwendung eines Parametermodells voraus. Bei der Massekurve wird z. B. angenommen, dass das bewertete Schalldämm-Maß homogener massiver Bauteile allein vom Parameter Masse abhängt. Dieses Modell wird an einigen Stützstellen durch Messungen überprüft. Ist das Modell verifiziert, so kann bei bekanntem Parameter die für die Prognose erforderliche Bauteil-Kenngröße berechnet werden. Die mit einem solchen Verfahren zu erwartenden Unsicherheiten werden überwiegend geprägt durch die unvollkommene Beschreibung der Realität durch das Modell, die Unsicherheit und die Anzahl der Verifikationsmessungen sowie die Produktstreuungen. Letztere beschreiben die Streuung der verwendeten Materialien und des Aufbaus. Bemessungskurven müssen eine Information zur zugehörigen Unsicherheit beinhalten.

Die akustischen Eigenschaften komplexer Bauteile lassen sich nur unzureichend durch einfache Parametermodelle beschreiben. Daher werden die Messergebnisse direkt in Katalogen oder anderweitigen Datenbanken zusammengefasst. Die Unsicherheit der Kenngrößen in den Bauteilkatalogen ergibt sich aus der Unsicherheit der zugrunde liegenden Messungen, der Zahl der vermessenen Exemplare sowie der Produktstreuung. Bauteilkataloge sollten Angaben zur Unsicherheit enthalten.

5 Ergebnisdarstellung

Die erweiterte Unsicherheit ist nach

$$U = k \times u_c \quad (5)$$

zu berechnen, wobei u_c die nach Abschnitt 4 ermittelte kombinierte Standardunsicherheit und k ein Erweiterungsfaktor ist. Sein Wert hängt von der Verteilung der Kenngröße und vom Vertrauensniveau ab. Im Allgemeinen wird in der Akustik bei der Kenngröße von einer Normalverteilung ausgegangen. Der Erweiterungsfaktor ergibt sich dann nach Tabelle 1.

Tabelle 1 — Erweiterungsfaktor für verschiedene Vertrauensniveaus bei ein- und zweiseitigen Tests bei Normalverteilung

Erweiterungsfaktor k	Vertrauensniveau für zweiseitige Tests	Vertrauensniveau für einseitige Tests
1,0	68 %	84 %
1,3	80 %	90 %
1,6	90 %	95 %
2,0	95 %	97,5 %
ANMERKUNG Einseitige Tests werden beim Vergleich mit einem Anforderungswert herangezogen (einseitig begrenzter Vertrauensbereich) während zweiseitige Tests für die Angabe eines Ergebnisses mit einer erweiterten Unsicherheit (zweiseitig begrenzter Vertrauensbereich) gebräuchlich sind.		

Ein Ergebnis ist dann wie folgt anzugeben

$$Y = y \pm U \quad (6)$$

wobei Y die Kenngröße, y der aufgrund der Messung oder Rechnung ermittelte beste Schätzwert und U die erweiterte Unsicherheit ist, die für ein gegebenes Vertrauensniveau für den zweiseitigen Test berechnet wurde. Für einen A-bewerteten Schallleistungspegel ergibt sich für einen zweiseitigen Vertrauensbereich z. B.

$$L_{WA} = (47,3 \pm 3,0) \text{ dB } (k = 2)$$

für einen einseitigen Vertrauensbereich z. B.

$$L_{WA} = (47,3 + 2,4) \text{ dB } (k = 1,6) \quad \text{oder} \quad L_{WA} = (47,3 - 2,4) \text{ dB } (k = 1,6)$$

ANMERKUNG Wenn erkennbar keine Normalverteilung der Schalldruckquadrate vorliegt und die erweiterte Unsicherheit eines Mittelungspegels bei kleinen Stichproben etwa 2 dB überschreitet, kann die Unsicherheit nach VDI 3723 Blatt 1 berechnet werden.

6 Verwendung von Unsicherheiten

6.1 Allgemeines

Eine entscheidende Rolle spielt die Unsicherheit beim Vergleich von Ergebnissen mit einem Anforderungswert. Da die Ergebnisse üblicherweise durch die Anwendung einer Norm erzielt werden, sollte die Norm auch Hinweise enthalten, wie bei Vergleichen mit Anforderungswerten vorzugehen ist. Dazu werden in diesem Leitfaden zwei Möglichkeiten dargestellt. Dies ist zum einen die Verwendung der erweiterten Unsicherheit U als Zu- bzw. Abschlag und zum anderen die Verwendung von Unsicherheitsklassen.

6.2 Behandlung der Unsicherheit als Zu- bzw. Abschlag

Um die Konformität mit einem Anforderungswert zu überprüfen, muss zur Berechnung der erweiterten Unsicherheit U der Erweiterungsfaktor für den einseitigen Test angewendet werden. Dieser Wert wird dann zum besten Schätzwert y addiert, um zu überprüfen, ob ein Ergebnis signifikant niedriger ist als ein Anforderungswert Y_{anf} .

$$y + U < Y_{\text{anf}} \quad (7)$$

Die erweiterte Unsicherheit U wird vom besten Schätzwert subtrahiert um zu überprüfen, ob ein Ergebnis signifikant größer ist als ein Anforderungswert

$$y - U > Y_{\text{anf}} \quad (8)$$

Liegt der Anforderungswert im Indifferenzbereich, d. h.

$$y - U < Y_{\text{anf}} < y + U \quad (9)$$

so ist nicht entscheidbar, ob der Anforderungswert eingehalten wird oder nicht. In diesem Fall sollte durch geeignete Maßnahmen, z. B. zusätzliche Messungen oder Maßnahmen am Messobjekt, die Unsicherheit so weit reduziert werden, bis eine klare Entscheidung möglich ist.

6.3 Verwendung von Unsicherheitsklassen

Die Verwendung von Unsicherheitsklassen setzt voraus, dass jedem Verfahren z. B. einer Norm, eine Unsicherheitsklasse beigemessen wird. Ergebnissen, die nach den jeweiligen Verfahren erzielt wurden, wird dann diejenige Unsicherheit zugeordnet, die diesen Unsicherheitsklassen generell beigemessen sind.

Für den Vergleich mit Anforderungswerten besteht die Möglichkeit, den Ergebnissen, die mit Verfahren der geringsten Unsicherheitsklasse erzielt wurden, die Unsicherheit von 0 zuzuordnen. Dadurch wird ein Indifferenzbereich vermieden.

BEISPIEL 1 Eine Möglichkeit für die Einteilung in Unsicherheitsklassen bei Verfahren für Pegelgrößen ist in Tabelle 2 aufgezeigt.

Tabelle 2 — Beispiel für Unsicherheitsklassen mit $k = 2$

Unsicherheitsklasse	1	2	3
Erweiterte Unsicherheit U	≤ 2 dB	≤ 4 dB	≤ 6 dB
Kombinierte Unsicherheit u_c	≤ 1 dB	≤ 2 dB	≤ 3 dB

BEISPIEL 2 Eine gute Möglichkeit für eine Entscheidungstabelle bei Verfahren für Pegelgrößen ist in Tabelle 3 aufgezeigt:

Tabelle 3 — Entscheidungstabelle für den Vergleich von Pegelgrößen (L_r Pegel des Ergebnisses, L_g Pegel des Anforderungswerts) für das Beispiel aus Tabelle 2

Anforderung ist	Unsicherheitsklassen des Verfahrens		
	1	2	3
	Differenz $L_r - L_g$ in dB		
Eingehalten	≤ 0	< -4	< -6
Keine Entscheidung möglich	—	-4 bis $+4$	-6 bis $+6$
Nicht eingehalten	> 0	$> +4$	$> +6$

ANMERKUNG Bei der hier für die geringste Unsicherheitsklasse 1 empfohlenen Schranke für die Ergebnisunsicherheit U von 2 dB wird angenommen, dass der Pegel des Ergebnisses, z. B. ein Beurteilungspegel, auch bis zu 2 dB größer oder kleiner sein kann, und dies trotzdem nicht wahrgenommen werden kann. Diese Annahme ist aus wissenschaftlicher Sicht durchaus gerechtfertigt. Zwicker und Fastl [6] geben für die eben wahrnehmbare Schallpegeländerung (just-noticeable level difference) einen Wert von etwa 1 dB unter bestmöglichen Hörbedingungen an (bei 4 Hz Modulationsfrequenz). Wenn man 1 dB als kleinste (wahrnehmbare) Unsicherheit zugrunde legt und mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ multipliziert, dann ist $U = 2$ dB eine zweckmäßige und plausible Schranke für Unsicherheitsklasse 1.

Anhang A

Messunsicherheit eines Terz-Schalldruckpegels in reflexionsarmer Umgebung

A.1 Messaufgabe

Zu messen sind die von einer Punktquelle emittierten Terz-Schalldruckpegel in einem definierten Feldpunkt eines reflexionsarmen Raums, wobei die Quelle breitbandiges Rauschen abstrahlt [7]. Die Filter erfüllen die Anforderungen der Klasse 0, die Mittelungszeit beträgt 420 s. Das Störgeräusch ist konstant und wird in allen Terzen mit 20 dB unter dem Nutzgeräusch angenommen. Es wird angenommen, dass in allen Terzen ein Wert von 60,0 dB angezeigt wird.

A.2 Modell

Der gesuchte Terz-Schalldruckpegel ergibt sich bei dieser Messaufgabe aus dem Anzeigewert L_p' zuzüglich einer Summe von Korrekturen

$$L_p = L_p' - K_{\text{mic}} - K_{\text{fil}} - K_{\text{dis}} - K_{\text{av}} - K_{\text{ang}} - K_{\text{cal}} - K_{\text{pos}} - K_1 \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

K_{mic}	die Korrekturen für den Frequenzgang des Mikrofons in Dezibel;
K_{fil}	die Korrekturen für die Filtereigenschaften in Dezibel;
K_{dis}	die Korrekturen für die Anzeigegenauigkeit in Dezibel;
K_{av}	die Korrekturen für die verwendete Mittelungszeit in Dezibel;
K_{ang}	die Korrekturen für den Schalleinfallswinkel in Dezibel;
K_{cal}	die Korrekturen für die Kalibrierung der Messkette in Dezibel;
K_{pos}	die Korrekturen für die Positionierung des Mikrofons in Dezibel;
K_1	die Störgeräuschkorrekturen in Dezibel.

A.3 Unsicherheitsbeiträge und kombinierte Unsicherheit

Den einzelnen Effekten lassen sich die Unsicherheitsbeiträge nach Tabelle A.1 zuordnen.

Tabelle A.1 — Unsicherheitsbeiträge in ausgewählten Terzbändern

Größe	Schätzwert	Verteilung	Sensitivitätskoeffizient	Standardunsicherheit u_i in dB bei $f =$			
				20 Hz	200 Hz	2 kHz	20 kHz
K_{mic}	0	Normal	1	0,15	0,10	0,10	0,20
K_{fil}	0	Normal	1	0,21	0,21	0,21	0,21
K_{dis}	0	Rechteck	1	0,03	0,03	0,03	0,03
K_{av}	0	Normal	1	0,19	0,06	0,02	<0,01
K_{ang}	0	Normal	1	< 0,01	< 0,01	0,03	0,70
K_{cal}	0	Normal	1	0,25	0,25	0,25	0,25
K_{pos}	0	Normal	1	0,04	0,04	0,04	0,04
K_1	0	Normal	1	0,02	0,02	0,02	0,02

A.4 Kombinierte Unsicherheit

Die kombinierte Unsicherheit der Terz-Schalldruckpegel ergibt sich aus der quadratischen Überlagerung der einzelnen Standardunsicherheiten, jeweils multipliziert mit dem Sensitivitätskoeffizienten

$$u_c(L_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^9 (c_i \times u_i)^2} \quad (\text{A.2})$$

Die in Tabelle A.2 dargestellten Werte der kombinierten Unsicherheit liegen für das hier vorgestellte einfache Beispiel einer Labormessung zwischen 0,35 dB und 0,80 dB.

Tabelle A.2 — Kombinierte Unsicherheit in ausgewählten Terzbändern

$f = 20 \text{ Hz}$	$u_c = 0,41 \text{ dB}$
$f = 200 \text{ Hz}$	$u_c = 0,35 \text{ dB}$
$f = 2 \text{ kHz}$	$u_c = 0,35 \text{ dB}$
$f = 20 \text{ kHz}$	$u_c = 0,80 \text{ dB}$

A.5 Angabe der Messergebnisse

Die erweiterte Unsicherheit der Terz-Schalldruckpegel wird aus der kombinierten Unsicherheit, multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$ gebildet. Dies entspricht einem Vertrauensniveau von 95 % bei einer hier angenommenen Normalverteilung. Damit ergeben sich für das Beispiel die Messergebnisse nach Tabelle A.3.

Tabelle A.3 — Vollständige Messergebnisse in ausgewählten Terzbändern

$f = 20 \text{ Hz}$	$L_p = (60,0 \pm 0,8) \text{ dB } (k = 2)$
$f = 200 \text{ Hz}$	$L_p = (60,0 \pm 0,7) \text{ dB } (k = 2)$
$f = 2 \text{ kHz}$	$L_p = (60,0 \pm 0,7) \text{ dB } (k = 2)$
$f = 20 \text{ kHz}$	$L_p = (60,0 \pm 1,6) \text{ dB } (k = 2)$

Anhang B

Unsicherheiten bei der Fremdgeräuschkorrektur

B.1 Allgemeines zur Berücksichtigung des Fremdgeräuscheinflusses bei der Bestimmung von quellenbezogenen akustischen Kenngrößen bzw. Kennwerten und deren Unsicherheit

Fremdgeräusch ist immer vorhanden, etwa bei Messungen an Maschinen in situ, d. h. unter Betriebsbedingungen und insbesondere bei Immissionsmessungen mit typischerweise komplexen Randbedingungen.

Das Fremdgeräusch erzeugt einen systematischen Fehler bei der messtechnischen Ermittlung des Geräusches der zu beurteilenden Schallquelle. Deshalb sollte sein Einfluss bei der Ergebnisfindung stets analysiert, unabhängig von seiner Höhe dokumentiert und sofern veranlasst entsprechend mitberücksichtigt werden.

Durch die Abtrennung des Fremdgeräusches zur Gewinnung eines rein quellenbezogenen Kennwertes erniedrigt sich der Zahlenwert für Letzteren im Vergleich zum direkten Messwert ohne Abtrennung.

Im Regelfall der Geräuschemesspraxis ist der energieäquivalente Mittelungspegel als Kennwert einer akustisch zu beurteilenden Schallquelle (Maschine, Anlage, Verkehrsmittel) bei gleichzeitig vorhandenem sonstigem Geräusch (Fremdgeräusch, Störgeräusch) zu bestimmen.

Im Folgenden wird beschrieben wie aus den Unsicherheiten (Standardabweichungen) der Messwerte für das Gesamtgeräusch und für das Fremdgeräusch die Beiträge zum Unsicherheitsbudget des Kennwertes „Mittelungspegel“ ermittelt werden können.

B.2 Bestimmung des fremdgeräuschkorrigierten Mittelungspegels aus der Messung des Gesamt- und Fremdgeräusches

B.2.1 Voraussetzung

Der Beitrag zum Unsicherheitsbudget des Kennwertes Mittelungspegel lässt sich aus den Unsicherheiten (Standardabweichungen) der Messwerte für das Gesamtgeräusch in Anwendung eines Modells ermitteln, dessen Modellfunktion sich aus B.2.2 ergibt. Voraussetzung für die Anwendung der dort angegebenen Gleichung (B.1) ist, dass sich L_F und die fremdgeräuschbezogenen Sensitivitätskoeffizienten in den Pausenzeiten des Quellengeräusches zweifelsfrei erfassen lassen. Das ist in der Regel der Fall, wenn das zu beurteilende Quellengeräusch entweder diskontinuierlich einwirkt oder vorübergehend ein- und ausgeschaltet werden kann, und wenn für das Quellen- und Fremdgeräusch jeweils Stationarität gegeben ist.

B.2.2 Modellfunktion

Die Modellfunktion im Sinne von ISO/IEC Guide 98-3:2008, 4.1.1, für die interessierende Messgröße und damit zur Beschreibung der durch das Fremdgeräusch bedingten Unsicherheit ist die ausschließlich aus zugänglichen Messdaten gebildete energetische Pegelsubtraktion „Gesamt- minus Fremdgeräusch“

$$L_Q = 10 \lg \left(10^{0,1 L_G} - 10^{0,1 L_F} \right) \text{ dB} . \quad (\text{B.1})$$

Alle in Gleichung (B.1) enthaltenen Pegelgrößen sind normativ energetische Mittelwerte.

Dabei bezeichnet L_Q – als vereinfachende Abkürzung von $L_{Q,pAeq}$ – den gesuchten Schalldruckpegel der zu beurteilenden Schallquelle. Entsprechend bezeichnen L_G den gemessenen Schalldruckpegel des Gesamtgeräusches und L_F den gemessenen Schalldruckpegel des Fremdgeräusches.

Die Anwendung von Gleichung (B.1) ist unter den angegebenen Voraussetzungen unabhängig davon, ob der gesuchte Pegelwert L_Q selbst (bei Immissionsmessungen) wegen starker Fremdgeräuschdominanz unter seine Auflösungsgrenze zu liegen kommt (siehe dazu [8], Gleichung (7)).

Darüber hinaus können zweckmäßigerweise, bei aufgabengerecht gewählten Randbedingungen mit einer im Vergleich zum Fremdgeräusch durchgängig tief liegenden Quellenpegelverteilung, auch Überschreitungspegel aus dem unteren Verteilungsbereich, z. B. L_{70} des Gesamt- und Fremdgeräusches in Gleichung (B.1) benutzt werden [8], [9]. Das hat den Vorteil, dass L_Q sowohl von einem im Vergleich zu L_{Geq} und L_{Feq} niedrigerem Arbeitspegel als auch sicherer ermittelt werden kann, nämlich mit kleineren Standardabweichungen u_G und u_F im Sinne von ISO/IEC 98-3 bzw. mit kleineren Vertrauensbereichen (siehe unten, Gleichung (B.7)), siehe auch Anhang F, F.1.1.2).

B.2.3 Gesamt- und fremdgeräuschbezogene Sensitivitätskoeffizienten

Aus Gleichung (B.1) folgt nach ISO/IEC 98-3:2008, 5.1.3, als gesamtgeräuschbezogener, dimensionsloser Sensitivitätskoeffizient, bezeichnet mit $c_{Q,G}$ für das Geräusch der interessierenden Schallquelle

$$c_{Q,G} := \frac{\partial L_Q}{\partial L_G} = 10^{0,1(L_G - L_Q)} = \frac{10^{0,1(L_G - L_F)}}{10^{0,1(L_G - L_F)} - 1} = \frac{1}{1 - 10^{-0,1(L_G - L_F)}}. \quad (B.2)$$

Analog dazu ist der fremdgeräuschbezogene Sensitivitätskoeffizient für das Quellengeräusch

$$c_{Q,F} := \frac{\partial L_Q}{\partial L_F} = -10^{0,1(L_F - L_Q)} = -\frac{1}{10^{0,1(L_G - L_F)} - 1}. \quad (B.3)$$

Aus den Gleichungen (B.2) und (B.3) folgt die bemerkenswerte Relation

$$c_{Q,G} + c_{Q,F} = 1 \quad (B.4)$$

und daraus, dass bei vorhandenem Quellengeräusch immer $L_G > L_F$ ist:

$$c_{Q,G}^2 > c_{Q,F}^2 \quad (B.5)$$

B.2.4 Kombinierte Standardunsicherheit

Nach der durch Gleichung (2) dieses Dokuments vorgegebener Regel

$$u_c^2 := \sum_i c_i^2 u^2(x_i) \quad (B.6)$$

zur Bildung der kombinierten Standardunsicherheit aus den einzelnen Anteilen des Unsicherheits-Budgets, folgt für die hier beschriebene Aufgabenstellung als Standardunsicherheit $u_{Q,c}$ für den Geräuschkennwert L_{eq} der interessierenden Schallquelle

$$u_{Q,c}^2 := c_{Q,G}^2 \times u_G^2 + c_{Q,F}^2 \times u_F^2 \text{ (dB)}^2 \quad (B.7)$$

mit u_G und u_F in dB als die direkt aus der Beobachtung folgenden Standardabweichungen des Gesamt- bzw. Fremdgeräuschpegels. Diese Standardabweichungen können – bei aufgabenkonform gewählten Randbedingungen – entweder nach 2.11 in Verbindung mit 2.8 dieses Dokuments als Wiederholstandardabweichung aus Mehrfachmessungen (siehe VDI 3723 Blatt 1 und Blatt 2) oder in einem *einzigen* Messvorgang [8], [9] aus der Mikrostatistik des Pegel-Zeitverlaufes ermittelt werden, sofern die Standardabweichung u_F des Fremdgeräusches am selben Messort auch bei Mehrfachmessungen jeweils unter 2 dB bleibt.

Der in [8] und [9] erklärte Vertrauensbereich V_L dB und die in ISO/IEC 98-3 definierte Standardabweichung u sind vermittelt

$$u = \frac{V_L}{1,28} \text{ dB} \quad (\text{B.8})$$

ineinander überführbar. Die Grundlagen der in [8] und [9] ausgeführten Verfahrensweisen sind in [10] und [11] gesondert begründet.

Die Gleichung (B.6) zur Bildung der kombinierten Standardunsicherheit kann nun explizit mittels der Gleichungen (B.2), (B.3) und (B.7) wie folgt formuliert werden:

$$u_{Q,c}^2 = \frac{u_G^2 + 10^{-0,2(L_G-L_F)} u_F^2}{\left(1 - 10^{-0,1(L_G-L_F)}\right)^2} (\text{dB})^2 \quad (\text{B.9})$$

Aus den Gleichungen (B.2) und (B.3) ist ersichtlich, dass die Sensitivitätskoeffizienten von L_Q durch den Pegelabstand des Fremdgeräusches zum Quellen- bzw. Gesamtgeräusch bestimmt sind. Bei Emissionsmessungen lässt sich das operativ mit großen Werten für $L_Q - L_F$ im Griff halten. Zum Beispiel $L_Q - L_F \geq 10$ dB bzw. $L_G - L_F \geq 10,4$ dB und u_G, u_F jeweils 0,3 dB ergibt nach Gleichung (B.9) $u_{Q,c} = 0,33$ dB.

Hingegen kann das bei Immissionsmessungen deutlich ungünstiger sein. Denn dort kann sowohl L_F annähernd gleich oder auch größer wie L_Q sein, als auch u_G und u_F deutlich im Bereich ganzer dB liegen, zum Beispiel mit $L_Q - L_F \leq 0$ dB und u_G, u_F jeweils 2,0 dB, was nach Gleichung (B.9) $u_{Q,c} \geq 4,5$ dB ergibt.

Bei einer derartigen Größenordnung erscheint die Linearisierung nach ISO/IEC Guide 98-3:2008, 5.1.2, Anmerkung, für die Messgrößenfunktion (B.1) wegen einer möglichen systematischen Abweichung des Budgetbeitrages von seinem korrekten Wert, z. B. um 10 % nach unten, nicht mehr zutreffend. In solchen Fällen sollte versucht werden, durch längere messtechnische Erhebungsdauern und/oder Schichtung, wie z. B. in VDI 3723 Blatt 1 erklärt, genügend kleine, d. h. unter etwa 2 dB liegende Standardabweichungen u_G und u_F zu erhalten.

Zahlenbeispiele für Gleichung (B.9):

Beispiel 1:

$L_G = 51,8$ dB; $L_F = 47$ dB; $u_G = 0,75$ dB; $u_F = 1,0$ dB; Ergebnis: $u_{Q,c} = 1,23$ dB

Beispiel 2:

$L_G = 54,8$ dB; $L_F = 53$ dB; $u_G = 0,35$ dB; $u_F = 0,5$ dB; Ergebnis: $u_{Q,c} = 1,45$ dB

B.3 Zur Bestimmung von Unsicherheiten des Messergebnisses diskontinuierlich emittierender Schallquellen im Freien, verursacht durch Fremdgeräusche

Bei kontinuierlichen Messungen des Gesamt- und Fremdgeräusches diskontinuierlich emittierender Schallquellen, wie z. B. bei den gesetzlich vorgeschriebenen Messungen des Fluglärms in der Umgebung von Flugplätzen, lassen sich auch bei stark schwankendem Fremdgeräusch die Auswirkungen dieses Geräusches auf die Unsicherheit der zu bestimmenden Geräuschimmission (Quellgeräusch) ermitteln. Auch hierbei wird im Hinblick auf die gängige Berechnungs- und Bewertungspraxis ausschließlich auf die Unsicherheit der akustischen Kenngröße L_{eq} abgestellt. Aus getrennten kontinuierlichen Messungen des Fremdgeräusches und des Gesamtgeräusches lässt sich während der Pausenzeiten des Quellgeräusches das einwirkende Fremdgeräusch über längere Zeit beobachten und statistisch auswerten, so dass die Streubreiten des Fremdgeräuschpegels zuverlässig analysiert werden können. Bei größeren Standardabweichungen u_F , insbesondere wenn sie periodisch wiederkehren, kann sich dabei das Erfordernis einer Schichtung ergeben.

Nach hinreichend langer Beobachtungszeit des Quellgeräusches lässt sich durch Vergleich mit den Schwankungen des Fremdgeräusches dann die Unsicherheit des Quellgeräusches bestimmen, mindestens aber abschätzen. Diese Unsicherheiten lassen sich ermitteln und mit einer durch die Aufgabenstellung gegebenen maximal zulässigen Unsicherheit vergleichen. In kritischen Situationen lässt sich mit entsprechendem Aufwand die Unsicherheit des Quellgeräusches genauer bestimmen. Nähere Einzelheiten hierzu finden sich in [12].

B.4 Zu den Randbedingungen

Die Messaufgabe umfasst die Abtrennung des Fremdgeräusches mit geringstmöglicher Unsicherheit für das Endergebnis. Die Messaufgabe stellt sich grundsätzlich sowohl bei Emissionsmessungen als auch bei messtechnischen Erhebungen von Geräuschimmissionen im Freien.

Als relevante Randbedingungen, einschließlich der damit verbundenen Unsicherheiten (kombinierte Standardabweichung) im Sinne von ISO/IEC Guide 98-3 kommen generell und im Nahbereich, d. h. bei Emissionsmessungen, in Frage:

- Eigenschaften der Messgeräte wie Frequenzgang, Filtereigenschaften, Anzeigegenauigkeit, Kalibrierung der Messkette, Positionierung (Angaben dazu finden sich in den entsprechenden Messgerätenormen, z. B. für Schallpegelmesser in DIN EN 61672-1, -2 und -3, für Filter in DIN EN 61260)
- Luftdruck, Temperatur, Feuchte;
- Charakter des Schallfeldes;
- Betriebsbedingungen (zeitlich konstant oder intermittierend);
- Stationarität (während der *gesamten* Messung);
- Mittelungs-Bezugszeit.

Bei Immissionsmessungen im Freien kommen noch hinzu:

- Betriebszustände der Schallquelle(n) im Tagesgang und die dadurch bedingte, ggf. nicht immer genau vorhersehbare zeitliche Variabilität der Geräusche (z. B. von Gabelstaplern und LKW);
- Tagesgang sowie Kurzzeitvariabilität der Fremdgeräusche und der Ausbreitungsbedingungen (Wind; Temperatur-Gradient etc.) sowie eventuell (auch nichtkausale) Korrelationen zwischen diesen Faktoren;
- Daraus sich ergebende Verteilungen, zur Nutzung ihrer unterschiedlichen Strukturen aus Vorwissen zur Abtrennung des Fremdgeräusches [8], [9], [12], [13], [14], [15] und auch begleitende Angabe der Unsicherheiten schon während der Messung selbst [8], [9];
- Auswahl der Zeitfenster für die Messungen entsprechend der Ermittlungsaufgabe, z. B. maximale Auslastung.

Die zum Unsicherheitsbudget des gesuchten Kennwerts beitragenden Unsicherheiten aus den das Fremdgeräusch nicht selbst betreffenden Randbedingungen wirken unabhängig vom Fremdgeräusch, vorausgesetzt, dass Stationarität auch für die Ausbreitungsbedingungen gegeben ist. Andernfalls kann es am Immissionsort eine nichtkausale Korrelation zwischen Quellen- und Fremdgeräusch geben.

Infolge des unabhängigen Fremdgeräuschbeitrages zur Unsicherheit kann dieser Beitrag entsprechend der Verfahrensbeschreibung in ISO/IEC Guide 98-3 direkt in das Unsicherheitsbudget mit eingebracht werden.

Die unter [12], [13], [14] und [15] zitierten Vorgehensweisen zur Geräuschtrennung basieren auf Langzeitmessungen mit Verwendung der Kenngrößen nach VDI 3723 Blatt 1.