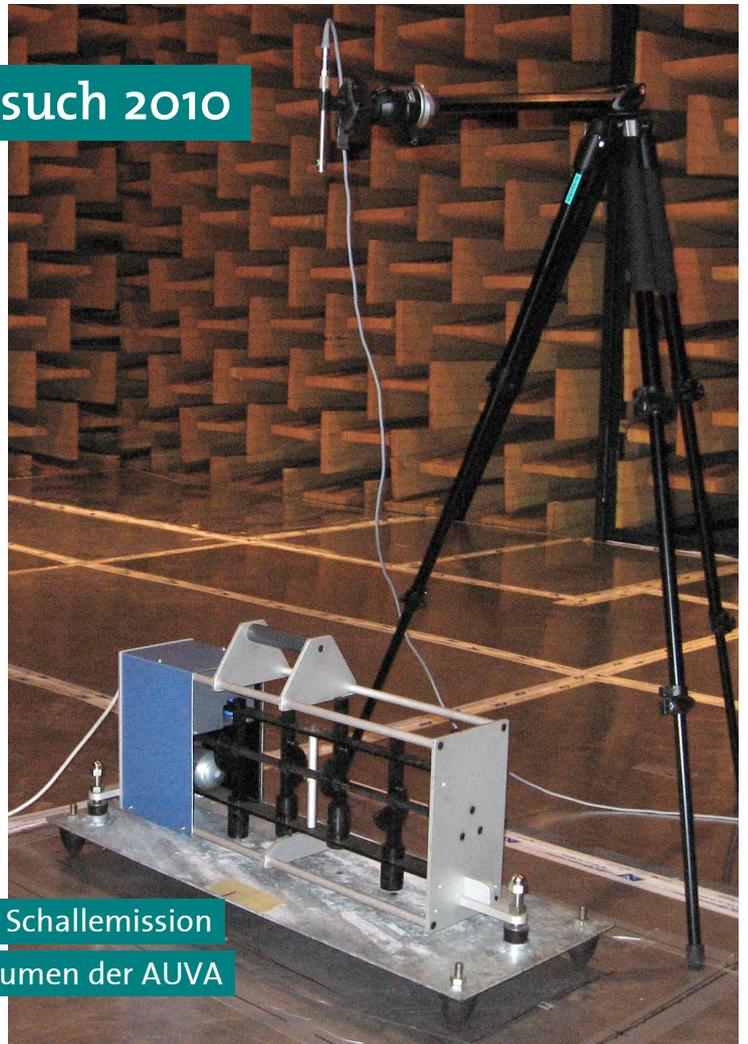


## Ringversuch 2010



Messung der Schallemission  
in den Prüfräumen der AUVA



lebensministerium.at

forum  
**SCHALL**





## RINGVERSUCH 2010

### Messung der Schallemission in den Prüfräumen der AUVA

Christoph Lechner



lebensministerium.at



REPORT  
REP-0339

Wien, 2011

**Autor**

Christoph Lechner  
Vorsitzender Forum Schall - [forum.schall@aon.at](mailto:forum.schall@aon.at)

**Satz/Layout**

Elisabeth Riss, Umweltbundesamt

**Korrektorat**

Maria Deweis, Umweltbundesamt

**Umschlagfoto**

© Christoph Lechner

Die vorliegende Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) erstellt.



lebensministerium.at

**Projektbetreuung BMLFUW:**

DI Helfried Gartner  
Abteilung Verkehr, Mobilität, Siedlungswesen und Lärm

**Projektbetreuung Umweltbundesamt:**

Mag. Roman Ortner

Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und das Umweltbundesamt danken allen, die durch ihre aktive Mitarbeit am Ringversuch zu den nunmehr vorliegenden Ergebnissen beigetragen haben.

Besonderer Dank gilt den Herren der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt in Wien Dipl.-Ing. Dr. Karl Körpert, Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Wahler, Dipl.-Ing. Mark Telsnig und Ing. Wolfgang Aspek.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

*Eigenvervielfältigung, gedruckt auf CO<sub>2</sub>-neutralem 100 % Recyclingpapier*

*2. korrigierte Auflage*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2011  
Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 978-3-99004-141-3

# INHALT

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	5
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	6
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	7
<b>SUMMARY</b> .....	8
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	9
<b>2 PLANUNG DES RINGVERSUCHS</b> .....	10
<b>3 TEILNEHMENDE PRÜFSTELLEN</b> .....	11
<b>4 AUFGABEN UND DATENSAMMLUNG</b> .....	13
4.1 Messaufgaben .....	13
4.2 Datensammlung .....	15
<b>5 DURCHFÜHRUNGSDetails ZU DEN EINZELNEN MESSAUFGABEN</b> .....	17
5.1 Messung im reflexionsarmen Raum .....	17
5.2 Messung im modifizierten Hallraum .....	19
5.3 Kontrolle der Schallemission .....	21
<b>6 STATISTISCHE BERECHNUNGEN</b> .....	24
6.1 Kennwerte .....	24
6.2 Begriffserläuterungen .....	25
6.2.1 Standardabweichung .....	25
6.2.2 Varianz .....	25
6.2.3 Median (auch: Zentralwert) .....	26
6.2.4 Quartil .....	26
6.2.5 Interquartilsabstand .....	26
6.2.6 Konfidenzintervall und Irrtumswahrscheinlichkeit .....	27
6.3 Darstellung der Ergebnisse .....	27
6.4 Berechnungen zu den beiden Aufgaben .....	27
6.5 Behandlung von Ausreißern .....	28
<b>7 ERGEBNISSE DER EINZELNEN AUFGABEN</b> .....	29
7.1 Messung im reflexionsarmen Raum .....	29
7.1.1 Mittelwerte .....	29
7.1.2 Standardabweichungen .....	32
7.2 Messung im modifizierten Hallraum .....	35
7.2.1 Mittelwerte .....	35
7.2.2 Standardabweichungen .....	38

<b>8</b>	<b>BOXPLOTS</b> .....	41
<b>8.1</b>	<b>Erläuterungen zu den Boxplots</b> .....	41
<b>8.2</b>	<b>Messung im reflexionsarmen Raum</b> .....	42
8.2.1	Mittelwerte .....	42
8.2.2	Standardabweichungen .....	43
<b>8.3</b>	<b>Messung im modifizierten Hallraum</b> .....	44
8.3.1	Mittelwerte .....	44
8.3.2	Standardabweichungen .....	45
<b>9</b>	<b>VERTRAUENSBEREICHE FÜR DIE EINZHLANGABEN</b> .....	46
<b>10</b>	<b>BEWERTUNG DER ERGEBNISSE</b> .....	47
<b>10.1</b>	<b>Messung im reflexionsarmen Raum</b> .....	47
10.1.1	Vorgaben aus ÖNORM EN ISO 3744.....	47
10.1.2	Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse .....	48
10.1.3	Angewandte Hüllfläche .....	49
10.1.4	Gegenüberstellung der Vergleichs-Standardabweichungen mit den geschätzten Werten der herangezogenen Norm .....	50
<b>10.2</b>	<b>Messung im modifizierten Hallraum</b> .....	52
10.2.1	Auswahl eines geeigneten Messverfahrens .....	52
10.2.2	Freifeldmessung und Sonderhallraum .....	55
10.2.3	Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse .....	55
10.2.4	Gegenüberstellung der Vergleichs-Standardabweichungen mit den geschätzten Werten der Normen .....	56
<b>11</b>	<b>FOLGERUNGEN</b> .....	58
<b>12</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	59
<b>13</b>	<b>SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN</b> .....	61
<b>13.1</b>	<b>Begriffsbestimmungen</b> .....	61

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Vorlage zur Datensammlung für die Aufgabe im reflexionsarmen Raum .....	15
Abbildung 2:	Vorlage zur Datensammlung für die Aufgabe im modifizierten Hallraum .....	16
Abbildung 3:	Geräuschquelle Hammerwerk auf Stahlplatte im reflexionsarmen Raum .....	18
Abbildung 4:	Wand- und Deckenbeschaffenheit des reflexionsarmen Raumes .....	18
Abbildung 5:	Abmessungen des reflexionsarmen Raumes und Situierung des Hammerwerkes .....	19
Abbildung 6:	Hammerwerk mit Abdeckhaube im modifizierten Hallraum .....	20
Abbildung 7:	Deckenansichten des modifizierten Hallraumes .....	20
Abbildung 8:	Grundriss des modifizierten Hallraumes mit Situierung des Hammerwerkes .....	21
Abbildung 9:	Werte der Kalibrierpegel und Messwerte der Kontrollmikrofone .....	23
Abbildung 10:	Grafische Darstellung der Boxplot-Informationen an einem Beispiel ....	41
Abbildung 11:	Reflexionsarmer Raum, Boxplots: Mittelwerte der Terzbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	42
Abbildung 12:	Reflexionsarmer Raum, Boxplots: Mittelwerte der Oktavbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	42
Abbildung 13:	Reflexionsarmer Raum, Boxplots: Standardabweichungen der Terzbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	43
Abbildung 14:	Reflexionsarmer Raum, Boxplots: Standardabweichungen der Oktavbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	43
Abbildung 15:	Modifizierter Hallraum, Boxplots: Mittelwerte der Terzbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	44
Abbildung 16:	Modifizierter Hallraum, Boxplots: Mittelwerte der Oktavbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	44
Abbildung 17:	Modifizierter Hallraum, Boxplots: Standardabweichungen der Terzbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	45
Abbildung 18:	Modifizierter Hallraum, Boxplots: Standardabweichungen der Oktavbänder und A-bewertete Einzahlangabe .....	45
Abbildung 19:	Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen für die Hüllflächen „Quader“ und „Halbkugel“ sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Terzbänder .....	51
Abbildung 20:	Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen für die Hüllflächen „Quader“ und „Halbkugel“ sowie Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Oktavbänder und A-bewerteten Pegel .....	52
Abbildung 21:	Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen von Messungen nach ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Terzbänder .....	56
Abbildung 22:	Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen von Messungen nach ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 für Oktavbänder und die A-bewertete Einzahlangabe .....	57

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Angaben zu den verwendeten Messgeräten .....	12
Tabelle 2: Charakteristischen Abmessungen, Messabstände und Hüllfläche für die Messung im reflexionsarmen Raum .....	17
Tabelle 3: Angewendete Normen für die Ermittlung der Schalleistung im modifizierten Hallraum .....	19
Tabelle 4: Werte der Kalibrierpegel und Messwerte der Kontrollmikrofone für jeden Messtag .....	22
Tabelle 5: Messung im reflexionsarmen Raum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz .....	29
Tabelle 6: Messung im reflexionsarmen Raum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz .....	30
Tabelle 7: Messung im reflexionsarmen Raum, Mittelwerte der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe .....	31
Tabelle 8: Messung im reflexionsarmen Raum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz .....	32
Tabelle 9: Messung im reflexionsarmen Raum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz .....	33
Tabelle 10: Messung im reflexionsarmen Raum, Standardabweichungen der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe .....	34
Tabelle 11: Messung im modifizierten Hallraum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz .....	35
Tabelle 12: Messung im modifizierten Hallraum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz .....	36
Tabelle 13: Messung im modifizierten Hallraum, Mittelwerte der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe .....	37
Tabelle 14: Messung im modifizierten Hallraum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz .....	38
Tabelle 15: Messung im modifizierten Hallraum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz ( .....	39
Tabelle 16: Messung im modifizierten Hallraum, Standardabweichungen der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe .....	40
Tabelle 17: Vertrauensbereiche für die A-bewertete Einzahlangabe beider Aufgaben .....	46
Tabelle 18: Frequenz f (in Hz), Mittelwerte m, Wiederholgrenzen r, Vergleichsgrenzen R und Vertrauensbereiche im reflexionsarmen Raum .....	48
Tabelle 19: Mittelwerte der A-bewerteten Schalleistungspegel $L_{W,A}$ in dB in aufsteigender Reihenfolge mit Angabe der gewählten Hüllfläche und des Messabstandes d im reflexionsarmen Raum .....	49
Tabelle 20: Frequenz f (in Hz), Mittelwerte m, Wiederholgrenzen r, Vergleichsgrenzen R und Vertrauensbereiche im modifizierten Hallraum .....	55

## ZUSAMMENFASSUNG

Der langjährigen Tradition folgend wurde auch 2010 im Rahmen des Forum Schall wieder ein Ringversuch veranstaltet. Ziel dieses Ringversuches war die Bestimmung von Wiederhol- und Vergleichsgrenzen bei der Messung der Schallemission. Der Ringversuch wurde in den Prüfräumen der Hauptstelle der Allgemeinen Unfallverhütungsanstalt in Wien mit Aufgabenstellungen im reflexionsarmen Raum und in einem modifizierten Hallraum durchgeführt. Damit wurden die beiden am häufigsten in der Praxis vorkommenden Fälle für Prüfungen der Schalleistungen in situ abgebildet. Es sind dies die Schallabstrahlung im Freien mit dem Messverfahren nach ÖNORM EN ISO 3744 mit Quader oder Halbkugel als Messfläche und die Messung in einer Industrie- oder Gewerbehalle nach einem auszuwählenden Verfahren. Bei der Aufgabe im modifizierten Hallraum wurden überwiegend die Verfahren nach ÖNORM EN ISO 3744 (Messung im Freifeld) und ÖNORM EN ISO 3743-2 (Sonderhallräume) verwendet. Für eine Ermittlung des A-bewerteten Schalleistungspegels im Freifeld ergab sich aus den Ringversuchsergebnissen ein Vertrauensbereich von 2,6 dB, im modifizierten Hallraum von 2,2 dB. Weitere Auswertungen zeigen, dass bei getrennter Betrachtung der Hüllflächen „Quader“ oder „Halbkugel“ der Vertrauensbereich der Freifeldmessung auf 1,7 dB reduziert werden kann.

### ***Messung im reflexionsarmen und modifizierten Raum***

#### **Fazit**

Messungen im Freifeld erzielen auch im Ringversuch die nach der anzuwendenden Norm erwarteten Genauigkeiten. Im unteren Frequenzbereich ist die Genauigkeit sogar deutlich besser als geschätzt. Durch getrennte Auswertung der Hüllflächen „Quader“ und „Halbkugel“ lässt sich die Genauigkeit deutlich steigern. Dies ist vor allem in Nachweisverfahren der Einhaltung von angegebenen Schalleistungsdaten ein wesentlicher Vorteil.

Im Ringversuch zeigte sich, dass das Verfahren in Sonderhallräumen eine deutlich höhere Genauigkeit ergibt als dies in den Schätzungen der anzuwendenden Norm angegeben ist. Die noch fehlenden Werte für Terzbandpegel können – ebenso wie diese Erkenntnis – in die nationale und internationale Normung einfließen.

## SUMMARY

In keeping with a long tradition of round-robin-tests, the interlaboratory tests organized within the framework of Forum Schall were resumed in 2010. The aim of this round robin test was to determine repeatability and reproducibility limits for the measurement of acoustic emissions. The measurements were conducted in the test rooms of the main office of the General Institute for Accident Prevention in Vienna and included experiments in an anechoic chamber and a modified reverberation test room. In these test environments, two cases which are most frequently encountered in practice were simulated to test the sound power levels in situ. These cases include acoustic emissions outdoors, measured with a technique according to ÖNORM EN ISO 3744 using a rectangular cuboidal or hemispherical measurement surface, and measurement in a factory building using a chosen technique. For the experiment in the modified reverberation room techniques according to ÖNORM EN ISO 3744 (measurement in an essentially free field) and ÖNORM EN ISO 3743-2 (special reverberation rooms) were mainly used. When determining the A-weighted sound power level in the essentially free field, the results of the round robin test showed a confidence range of 2.6 dB; in the modified reverberation room the confidence range was 2.2 dB. A separate analysis of the enveloping rectangular cuboidal and hemispherical surfaces showed that the confidence range for free field measurements can be reduced to 1.7 dB.

### Results

The accuracy achieved with the free field measurements in this round robin test was as expected when using the applicable standard. For lower frequencies the accuracy was even better than estimated. A separate analysis of the enveloping rectangular cuboidal and hemispherical surfaces clearly improved the accuracy. Especially in procedures designed for testing compliance with specified sound power level data this is a major advantage.

The round robin test showed that the accuracy obtained with the method used in special reverberation test rooms was clearly higher than indicated in the estimates of the applicable standard. The missing values for third-octave band levels may, as well as this finding, be included in the national and international standards.

# 1 EINLEITUNG

Seit dem Bestehen der Arbeitsgruppe Forum Schall, welche im Jahr 1994 als „Arbeitsgruppe Qualitätssicherung von Umweltmessdaten – schalltechnische Messungen und Berechnungen“ durch die Landesumweltreferentenkonferenz eingerichtet wurde, ist eine Reihe von Ringversuchen und Vergleichsmessungen durchgeführt worden. Seit der Übernahme des Vorsitzes im Forum Schall wurden vom Autor Ringversuche zu den Themen bauakustische Messungen (auch im erweiterten Frequenzbereich), Schallimmissionsmessungen inklusive Geräuschbewertungen, Messmethoden für Straßenverkehr, haustechnische Geräusche und Fassadenmessungen wie auch Vergleichsberechnungen zu Umgebungslärm durchgeführt.

## **Arbeitsgruppe Forum Schall**

### **Motivation für die Durchführung dieses Ringversuchs**

Von Prof. DI Dr. Judith Lang wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe bereits eine Ermittlung der Vertrauensbereiche der Messung der Schallemission durchgeführt (UMWELTBUNDESAMT 1998). Die Ergebnisse sind aufgrund der Wahl der Schallquelle nicht ganz optimal zu interpretieren. Es wurde seinerzeit eine Referenzschallquelle mit Asynchronmotor verwendet, so dass die Schallabstrahlung abhängig von der anliegenden Versorgungsspannung war. Auch aufgrund der Änderung der anzuwendenden Schalleistungsnormen, aber auch der bereits länger zurückliegenden Ergebnisse wurde die Durchführung einer neuerlichen Ermittlung der Unsicherheiten unter Herstellung besserer Wiederhol- und Vergleichsbedingungen für sinnvoll angesehen.

## **Ringversuch 1998**

Die Bestimmung der Unsicherheit schalltechnischer Messungen kann grundsätzlich auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen: einerseits durch Berechnung aus einzelnen Unsicherheitsbeiträgen, andererseits mit Hilfe von Ringversuchen. Die Ermittlung einzelner Unsicherheitsbeiträge im Zusammenhang mit Schallemissionsmessungen führt zwingend zu Schätzungen und Annahmen, welche das Berechnungsergebnis ebenfalls in Frage stellen. In Österreich wurde zur Bestimmung der Unsicherheiten der Weg von Ringversuchen verfolgt. Der Vorteil liegt in der umfassenden Behandlung aller Einflüsse durch praktisch gewonnene Erfahrungen. Ein weiterer Vorteil liegt sicher auch in der Glaubhaftigkeit der Ergebnisse, da auch heute noch grundsätzlich messtechnisch gewonnenen Werten mehr Vertrauen geschenkt wird als reinen Berechnungsergebnissen. Der Nachteil liegt in der Notwendigkeit einer Mindestanzahl von Teilnehmern, um eine ausreichende statistische Aussagekraft zu erreichen. Hier ist das Engagement von akkreditierten Stellen, Zivilingenieurbüros und öffentlichen Dienststellen in Österreich vorbildlich. Vor diesem Hintergrund wurde auch im Jahr 2010 wieder ein Ringversuch veranstaltet und wie sich zeigte, waren das Interesse und die Teilnahme sehr groß.

## **Bestimmung der Unsicherheit**

Den teilnehmenden Dienststellen bietet dieser Ringversuch die Möglichkeit, im Rahmen ihrer Akkreditierung bzw. Zertifizierung den fachlichen Nachweis der Umsetzung ihrer Qualitätskriterien zu führen.

In einer Präsentation bei der InterNoise 2010 in Lissabon erläuterte Dr. Volker Wittstock, wohl einer der herausragendsten Experten im Bereich Unsicherheiten schalltechnischer Messungen, dass zur Bestimmung der Unsicherheiten von Schallemissionsmessungen Ringversuche die geeignetste Methode darstellen. Damit wird der österreichische Zugang auch international präferiert. Österreich kann mit dieser vorliegenden Arbeit einen wertvollen Beitrag auch zur internationalen Normung leisten.

## 2 PLANUNG DES RINGVERSUCHS

### **Untersuchung in geschlossenen Räumen**

Nicht immer waren die Messaufgaben in früheren Ringversuchen reine in Situ Messungen. So wurde stets versucht, beim Ringversuch echte Wiederhol- und Vergleichsbedingungen herzustellen. Für die haustechnischen Geräusche wurden beispielsweise Referenzsignale zur Auswertung versandt oder bei der Schallimmissionsmessung wurde ein definiert abstrahlendes Geräusch zur Untersuchung bereitgestellt. Exakte Wiederhol- und Vergleichsbedingungen bedeuten bei Schallemissionsbestimmungen konstante Schallabstrahlung, unveränderte Umgebung im Hinblick auf Schallabsorption und Schallreflexion sowie – in der höchsten Ebene der Genauigkeit – konstante meteorologische Bedingungen vor allem von Lufttemperatur und Luftdruck. Bei guten Wiederhol- und Vergleichsbedingungen ist sichergestellt, dass die ermittelten Abweichungen und daraus berechneten Unsicherheiten tatsächlich den Messungen zuzuschreiben sind. Die beschriebenen Voraussetzungen legen nahe, dass die Untersuchungen in geschlossenen Räumen stattfinden sollten. Dazu konnten die AUVA als Projektpartnerin gewonnen und die Prüfräume der Hauptstelle in Wien für den Ringversuch verwendet werden. Dabei wurden die folgenden Überlegungen angestellt: Im reflexionsarmen Raum sind fast ideale Bedingungen für die freie Schallausbreitung gegeben. Hier kann das Verfahren der ÖNORM EN ISO 3744 analysiert werden. In einem Hallraum wurde durch leichte Modifikationen ein „Industrieraum mit ungenügender Schallabsorption“ simuliert. Dieser sehr häufig vorkommende Praxisfall wurde hier abgefragt – konkret wie in situ Messverfahren ausgewählt und wie die Verfahren angewandt werden. Der Vorteil eines solchen Raumes besteht in der unveränderten Schallabsorption und der ungestörten Hintergrundgeräuschsituation.

### **eingesetzte Geräuschquellen**

Als Geräuschquellen dienten jeweils Normhammerwerke auf Stahlplatten, wobei eines davon mit einer halbkugelförmigen Abdeckhaube ausgestattet war. Aufgrund der definierten Impulse der Hämmer und der geregelten Drehzahlen ist zu erwarten, dass die Schallquellen über den Ringversuch exakt konstant emittieren und damit die Bedingung exakter Wiederhol- und Vergleichsbedingungen gestellt wird.

Um nun zu zeigen, dass die Schallemission der Hammerwerke über die Ringversuchsdauer in beiden Räumen gleich geblieben ist, wurden Kontrollmikrofone mit unveränderter Lage fix installiert. Diese wurden auch vor und nach jeder Messreihe durch eine Prüfstelle mit einer Prüfschallquelle (Kalibrator) überprüft. Die atmosphärischen Bedingungen wie Temperatur und Feuchte sind in den Prüfräumen aufgrund der Situierung im Untergeschoß im Verlauf des Ringversuchs als konstant anzunehmen.

Die Einladung zum Ringversuch erfolgte über E-Mail an die bisherigen TeilnehmerInnen an Ringversuchen, an das Forum Schall und über den Österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung. InteressentInnen wurden die Aufgabenstellungen gesandt. Details dazu sind in der vollständig wiedergegebenen Aufgabenstellung unter Kapitel 4 enthalten.

### 3 TEILNEHMENDE PRÜFSTELLEN

Ein besonderer Vorteil der Verwendung der Prüfräume der AUVA war die Unabhängigkeit von Wetter und anderen Umgebungseinflüssen. Dadurch konnten Termine fix vergeben werden, was sich in der Anzahl der teilnehmenden Prüfstellen erwartungsgemäß positiv auswirkte. Es nahmen 18 Dienststellen am Ringversuch teil, wobei insgesamt 22 Messreihen mit Auswertungen stattgefunden haben. Diese einzelnen Beteiligten werden in der Folge als „Prüfstellen“ bezeichnet, da von einzelnen Dienststellen mehrere Prüfstellen (als einzelne Person oder Messteam) teilgenommen haben.

**22 Messreihen  
wurden ausgewertet**

In alphabetischer Reihenfolge sind die teilnehmenden Dienststellen an diesem Ringversuch aufgelistet:

**18 teilnehmende  
Dienststellen**

- AIT Austrian Institute of Technology,  
Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.;
- Amt der Kärntner Landesregierung;
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung;
- Amt der Tiroler Landesregierung,  
Abteilung Emissionen Sicherheitstechnik Anlagen;
- Amt der Vorarlberger Landesregierung,  
Abteilung VIc - Maschinenbau und Elektrotechnik;
- DI Dr. Krückl & Partner  
ZT-GmbH für Bauingenieurwesen und technische Physik;
- iC consulenten Ziviltechniker GmbH;
- Landwirtschaftliches Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein;
- Magistrat der Stadt Wien;
- Magistrat Linz, Umwelt- und Technik Center;
- NUA-Umweltanalytik GmbH;
- psiA-Consult GmbH;
- Sicherheitstechnische Prüfstelle;
- Staatliche Versuchsanstalt TGM,  
Fachbereich Akustik und Bauphysik;
- Stadtmagistrat Innsbruck;
- TAS Sachverständigenbüro für technische Akustik SV-GmbH;
- Umwelt Prüf- und Überwachungsstelle des Landes Oberösterreich;
- ZT-GesmbH. Dr. Tomberger.

In der Ringversuchauswertung sind die Prüfstellen anonymisiert und weder chronologisch – wie nach Durchführung der Messung oder nach Abgabe der Ergebnisse – noch alphabetisch geordnet. Sie erhielten die laufende Nummerierung von 1 bis 22 (siehe Tabelle 1).

In nachstehender Tabelle 1 sind die verwendeten Messgeräte der teilnehmenden Prüfstellen am Ringversuch wiedergegeben. Die angegebenen Messgeräte wurden jeweils für beide Aufgaben (Messung im reflexionsarmen Raum und im modifizierten Hallraum) herangezogen.

**verwendete  
Messgeräte**

*Tabelle 1: Angaben zu den verwendeten Messgeräten (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).*

<b>Prüfstelle</b>	<b>Messgerät</b>	<b>Prüfschallquelle</b>
1	Brüel & Kjaer 2250	Brüel & Kjaer 4231
2	Larson Davis 824	Brüel & Kjaer 4231
3	Brüel & Kjaer 2260	k.A.
4	Larson Davis 2900	Larson Davis CAL 200
5	Nor140 / Nor121	Norsonic1251
6	Norsonic 118	Norsonic 1251
7	Sinus Soundbook_octav	Brüel & Kjaer 4231
8	Brüel & Kjaer Pulse 3560-B	Brüel & Kjaer 4231
9	Nor 140	Norsonic 1251
10	2 x Norsonic 140	Norsonic 1251
11	Norsonic 140	Norsonic 1251
12	Larson Davis 824	Brüel & Kjaer 4231
13	Norsonic 118	Norsonic 1251
14	Larson Davis 831	Brüel & Kjaer 4231
15	Norsonic 118	Norsonic 1251
16	Brüel & Kjaer 2270	Brüel & Kjaer 4231
17	Brüel & Kjaer 2260	Brüel & Kjaer 2231
18	Norsonic 140	Brüel & Kjaer 4236
19	Brüel & Kjaer 2250	Brüel & Kjaer 4231
20	Norsonic 118	Norsonic 1251
21	Brüel & Kjaer 2260	Brüel & Kjaer 4231
22	Norsonic 118	Norsonic 1251

## 4 AUFGABEN UND DATENSAMMLUNG

### 4.1 Messaufgaben

Die Aufgabenstellung zum Ringversuch ist nachstehend im Original wiedergegeben:

*„Die Messungen wurden in den Prüfräumen der Hauptstelle der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt organisiert. In einem modifizierten Hallraum mit akustischer Teilbedämpfung wurden realistische Schallausbreitungsbedingungen am Einsatzort simuliert, in einem reflexionsarmen Raum waren Freifeldbedingungen über einer reflektierenden Oberfläche vorhanden. Als zu untersuchende Quellen dienten Normhammerwerke auf Stahlplatten, eine davon mit Stahlabdeckhaube. Die Konstanz der Quellen über die Dauer des Ringversuchs wurde mittels Überwachungsmikrofon belegt. Im Folgenden sind die Messaufgaben, wie sie den teilnehmenden Dienststellen in der Ausschreibung mitgeteilt wurden, wiedergegeben:*

#### **Aufgabe 1: Simulation Messung im Freien – reflexionsarmer Raum:**

*Quelle: Hammerwerk auf Stahlplatte ohne Abdeckhaube (steht bereit)*

*Verfahren verpflichtend nach ÖNORM EN ISO 3744 – die Messfläche („Quader“ oder „Halbkugel“) ist freigestellt.*

*Messung in Terzbändern und mit A-Bewertung, zusätzliche Bestimmung der Oktavbandpegel und Bestimmung der Schallleistung. Die Bestimmung des Richtwirkungsmaßes nach Anhang E ist, wie ursprünglich vorgesehen, bei der verwendeten Quelle nicht zweckmäßig und daher nicht durchzuführen. Die Korrekturwerte für Fremdgeräusche und Umgebung sind nur einmal zu bestimmen (keine Wiederholmessungen). Für die Auswertung der Schallleistungspegel sind  $K_1$  und  $K_2$  aber auf 0 dB zu setzen.*

#### **Aufgabe 2: Simulation Messung am Einsatzort – modifizierter (teilbedämpfter) Hallraum:**

*Quelle: Hammerwerk auf Stahlplatte mit Abdeckhaube (steht bereit)*

*Messtechnische Ermittlung der Schallleistung „am Einsatzort“.*

*Das Verfahren ist Ihnen dabei freigestellt, ein Verfahren der Genauigkeitsklasse 2, ist aber verpflichtend. Bestimmung Schallleistung in Oktavbändern und A-bewertet, optional auch in Terzbändern. Damit Sie eine Vorstellung vom Hallraum haben, sind die wesentlichen Raumparameter nachstehend beschrieben:*

**Nachhallzeiten im modifizierten Hallraum:**

<b>f [Hz]</b> .....	<b>T<sub>20</sub> [s]</b>
50.....	3,9
63.....	3,3
80.....	2,7
100.....	3,0
125.....	3,5
160.....	2,8
200.....	2,2
250.....	2,0
315.....	1,7
400.....	1,6
500.....	1,5
630.....	1,3
800.....	1,2
1.000.....	1,2
1.250.....	1,3
1.600.....	1,3
2.000.....	1,2
2.500.....	1,2
3.150.....	1,2
4.000.....	1,0
5.000.....	1,0
6.300.....	0,9
8.000.....	0,9
10.000.....	0,8

**Raumvolumen: 206 m<sup>3</sup>**

**Raumoberfläche: 183 m<sup>2</sup>**

**Hinweis:** Das Verfahren nach ÖNORM EN ISO 3743-2 (Verfahren für Sonder-Hallräume) kann trotz Nichterfüllung von 4.3 zur Anwendung kommen.

**Wiederholungsmessungen:** Ich darf Sie bitten, von beiden Aufgaben jeweils fünf Messungen durchzuführen. Dabei soll die Art der Durchführung (vor allem die angewendete Norm bei Aufgabe 2 im modifizierten Hallraum – wie auch die Messgeräte usw.) immer dieselbe sein. Dazwischen ist die Apparatur abzubauen. Dazu soll eine Quelle nicht mehrmals unmittelbar hintereinander gemessen werden, sondern immer abwechselnd im reflexionsarmen Raum und im (modifizierten) Hallraum. Durch die wechselweise Messung in diesen Räumen ist die Belegung eines Termins für 2 Messteams pro Tag und ein bisschen an Rücksichtnahme möglich. Bei jeder Messung ist eine eigene Kalibrierung durchzuführen. Die Quellen und deren Positionen bleiben in den beiden Räumen unverändert.

**Achten Sie bitte bei den Messungen auf einen persönlichen Gehörschutz!**

**Kontakt AUVA:** Ing. Wolfgang Aspek, Tel. 01 33111 506,  
E-Mail [wolfgang.aspek@auva.at](mailto:wolfgang.aspek@auva.at)

### Datenübermittlung

Für die Auswertung der Messergebnisse erhalten Sie nun die Vorlage in Form eines Excel-Arbeitsblattes [RV 2010 Ergebnismappe]. Bitte auch die Prüfstelleninformationen ausfüllen. Verwenden Sie bitte nur die gelb hinterlegten Felder. Die Spaltennummerierung steht für die Messreihen 1 bis 5 (Wiederholmessungen). Für Umgebungs- und Fremdgeräuschkorrektur ist jeweils nur eine Spalte vorgesehen, da diese Prüfung nur einmal vorzunehmen ist. Bitte senden Sie dann die ausgefüllte Vorlage per E-Mail an [forum.schall@aon.at](mailto:forum.schall@aon.at). Das ausgefüllte Excelblatt sollte keinen Blattschutz bekommen und nicht in ein anderes Format, wie z. B. pdf, konvertiert werden.“

## 4.2 Datensammlung

Die Messdaten wurden von den teilnehmenden Dienststellen in Vorlageblättern einer Excel-Arbeitsmappe eingetragen und dem Ringversuchsleiter nach Durchführung der Messungen retourniert.

In Abbildung 1 ist die Vorlage zur Datensammlung für die Aufgabe im reflexionsarmen Raum wiedergegeben.

Reflexionsarmer Raum – Vorlage zur Datensammlung																																			
Messnorm: <b>ÖNORM EN ISO 3744</b>														alle Werte in dB auf 1/10 gerundet!																					
L <sub>w</sub>		L <sub>w, Terz</sub> Terzbandpegel																L <sub>w, Okt</sub> Oktavbandpegel								L <sub>w, A</sub>									
	f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
5 x Messung	1																																		
	2																																		
	3																																		
	4																																		
	5																																		
1x	K <sub>1</sub>																																		
1x	K <sub>2</sub>																																		

Bezugsquader:	l <sub>1</sub>		m	Messfläche:		Quader / Halbkugel (zutreffendes eintragen)
	l <sub>2</sub>		m	Messabstand x:		(d bei Quader / r bei Kugel)
	l <sub>3</sub>		m	Anzahl der Messpunkte:		Messfläche S
						m <sup>2</sup>

Verfahren zur Bestimmung von K<sub>2</sub>:  Abschätz- / Nachhall- / Zwei-Flächen-Verfahren (zutreffendes eintragen)

Messgerät:

Kalibrator:

sonstiges:

Bemerkungen:

Abbildung 1: Vorlage zur Datensammlung für die Aufgabe im reflexionsarmen Raum.



## 5 DURCHFÜHRUNGSDetails zu den EINZELNEN MESSAUFGABEN

### 5.1 Messung im reflexionsarmen Raum

In Aufgabe 1 war die anzuwendende Norm in der Aufgabenstellung enthalten. Frei wählbar waren aber die Messabstände und die Hüllfläche „Quader“ oder „Halbkugel“. Nicht wirklich disponibel sind die charakteristischen Abmessungen der Schallquelle, trotzdem wurden diese abgefragt – vor allem zur Kontrolle, ob diese Größen auch allgemein richtig verstanden werden.

In der folgenden Tabelle 2 sind die charakteristischen Abmessungen, Messabstände und Hüllfläche für die einzelnen Prüfstellen wiedergegeben.

*Tabelle 2: Charakteristischen Abmessungen, Messabstände und Hüllfläche für die Messung im reflexionsarmen Raum (Quelle: Christoph Lechner/ Lebensministerium).*

Prüfstelle	$l_1$ [m]	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$d$ [m]	Hüllfläche	Messfläche [m <sup>2</sup> ]
1	1,00	1,00	1,00	1,00	Quader	33,0
2	0,80	0,30	0,32	0,50	Quader	k.A.
3	k.A.	k.A.	k.A.	2,00	Halbkugel	25,1
4	0,60	0,30	0,30	1,00	Quader	18,7
5	0,80	0,30	0,32	1,00	Quader	19,9
6	0,80	0,30	0,26	1,00	Quader	k.A.
7	0,80	0,30	0,31	1,00	Quader	19,8
8	0,80	0,30	0,40	1,00	Quader	20,7
9	0,80	0,30	0,35	1,00	Quader	20,2
10	0,80	0,30	0,30	1,00	Quader	19,7
11	0,80	0,30	0,32	2,00	Halbkugel	25,1
12	0,80	0,30	0,32	0,50	Quader	k.A.
13	1,00	0,50	0,50	1,00	Halbkugel	6,3
14	0,80	0,30	0,31	0,50	Quader	7,4
15	0,80	0,30	0,26	1,00	Quader	18,0
16	0,82	0,30	0,31	1,00	Quader	19,9
17	k.A.	k.A.	k.A.	2,00	Halbkugel	25,1
18	2,40	1,90	1,10	0,00	Quader	14,0
19	0,80	0,30	0,32	2,00	Halbkugel	25,1
20	0,80	0,30	0,32	2,00	Halbkugel	25,1
21	0,80	0,30	0,06	1,00	Quader	17,2
22	0,80	0,30	0,32	2,00	Halbkugel	25,1

Einige Prüfstellen haben die charakteristischen Abmessungen mit den Abmessungen der Hüllfläche verwechselt oder einen die Maschine weiter umspannenden Bezugsquader angegeben. Die Nachrechnung der Hüllflächen ergibt jedoch für jeden Fall, dass diese richtig ermittelt wurden. Eine Vereinheitlichung in diesem Bereich wäre zwar wünschenswert, in der Ermittlung der Unsicherheiten spielt dies jedoch keine Rolle.

In Abbildung 3 ist das Hammerwerk im reflexionsarmen Raum ersichtlich.

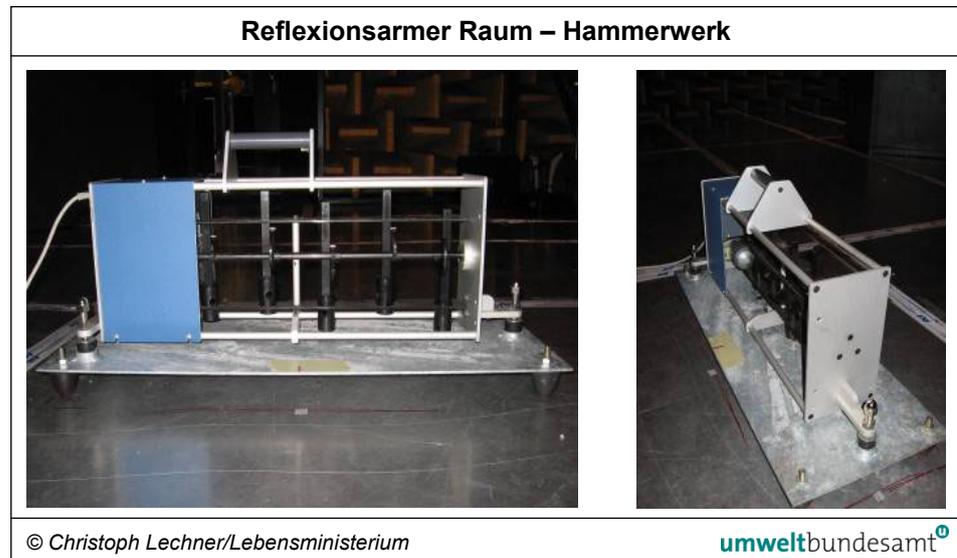


Abbildung 3: Geräuschquelle Hammerwerk auf Stahlplatte im reflexionsarmen Raum.

Abbildung 4 zeigt die Wand- und Deckenbeschaffenheit des reflexionsarmen Raumes.



Abbildung 4: Wand- und Deckenbeschaffenheit des reflexionsarmen Raumes.

Die genaue Situierung der Schallquelle im reflexionsarmen Raum und die Abmessungen des Raumes sind in Abbildung 5 dargestellt.

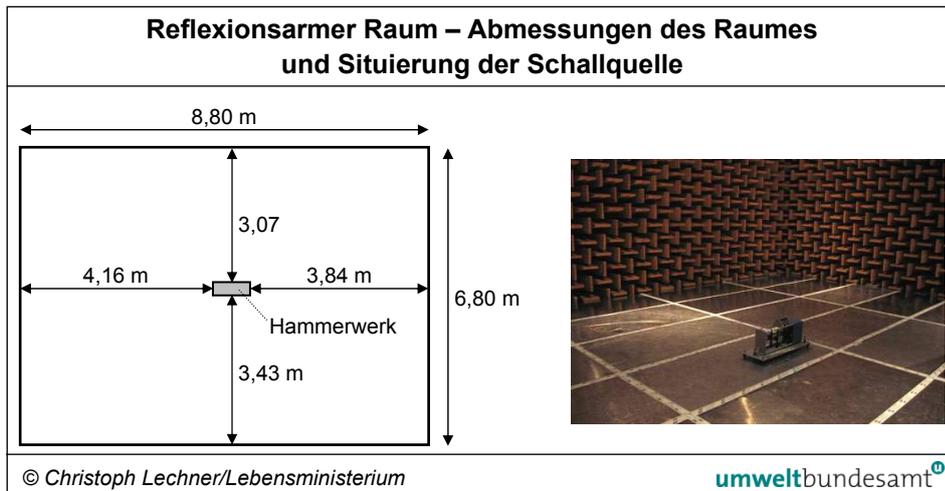


Abbildung 5: Abmessungen des reflexionsarmen Raumes und Situierung des Hammerwerkes.

## 5.2 Messung im modifizierten Hallraum

In Aufgabe 2 war das Messverfahren freigestellt. Um die Auswahl des Verfahrens bereits im Vorfeld zu erleichtern, wurden in der Aufgabenstellung die Raumgeometrie (Volumen und Oberfläche) sowie die Werte für die Nachhallzeit bekannt gegeben (siehe Kapitel 4).

In der nachstehenden Tabelle 3 sind die von den jeweiligen Prüfstellen gewählten Verfahren samt Zusatzbemerkungen angegeben.

**ausgewählte  
Messverfahren**

Tabelle 3: Angewendete Normen für die Ermittlung der Schalleistung im modifizierten Hallraum (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Prüfstelle	verwendete Norm	Bemerkung
1	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Quader, 9 Messpunkte
2	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Halbkugel, $S = 10,1 \text{ m}^2$
3	k.A.	anzunehmen ist ISO 3744
4	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Quader, $S = 23,5 \text{ m}^2$
5	ÖNORM EN ISO 3743-1	6 Mikrofonpositionen im Hallfeld
6	ÖNORM EN ISO 3743-2	6 Mikrofonpositionen im Hallfeld
7	ÖNORM EN ISO 3743-2	6 Mikrofonpositionen, Direktverfahren
8	ÖNORM EN ISO 9614-2	2 verschiedene Pfade
9	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Halbkugel, $S 12,7 \text{ m}^2$
10	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Halbkugel, $r = 0,9 \text{ m}$
11	ÖNORM EN ISO 3743-2	6 Mikrofonpositionen im Hallfeld
12	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Halbkugel, $S = 10,1 \text{ m}^2$
13	ÖNORM EN ISO 3743-2	6 Mikrofonpositionen im Hallfeld
14	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Halbkugel $S = 10,1 \text{ m}^2$
15	ÖNORM EN ISO 3743-2	6 Mikrofonpositionen im Hallfeld
16	ÖNORM EN ISO 3743-2	12 Mikrofonpositionen
17	ÖNORM EN ISO 3743-2	6 Mikrofonpositionen im Hallfeld
18	ÖNORM EN ISO 3744	Messfläche Quader, $S 12 \text{ m}^2$
19	ÖNORM EN ISO 3743-2	Direktverfahren
20	ÖNORM EN ISO 3743-2	Messgerät Einstellung „Diffus“
21	ÖNORM EN ISO 3743-2	3 Mikrofonpositionen
22	ÖNORM EN ISO 3743-2	12 Mikrofonpositionen

Laut ÖNORM EN ISO 3743-2 wird angenommen, dass der Mindestwert für die Anzahl der Mikrofonpositionen sechs sein wird. Bei niedrigen Standardabweichungen unter den Ergebnissen der Positionen ( $\leq 2,3$  dB) kann die Zahl tatsächlich auf drei Positionen reduziert werden. Die Überprüfung hat ergeben, dass dies bei Prüfstelle 21 zu Recht erfolgt ist.

In Abbildung 6 ist das Hammerwerk im modifizierten Hallraum ersichtlich.



Abbildung 6: Hammerwerk mit Abdeckhaube im modifizierten Hallraum.

Abbildung 7 zeigt die Wand- und Deckenbeschaffenheit des modifizierten Hallraumes.



Abbildung 7: Deckenansichten des modifizierten Hallraumes.

Die genaue Situierung der Schallquelle im modifizierten Hallraum ist in Abbildung 8 dargestellt.

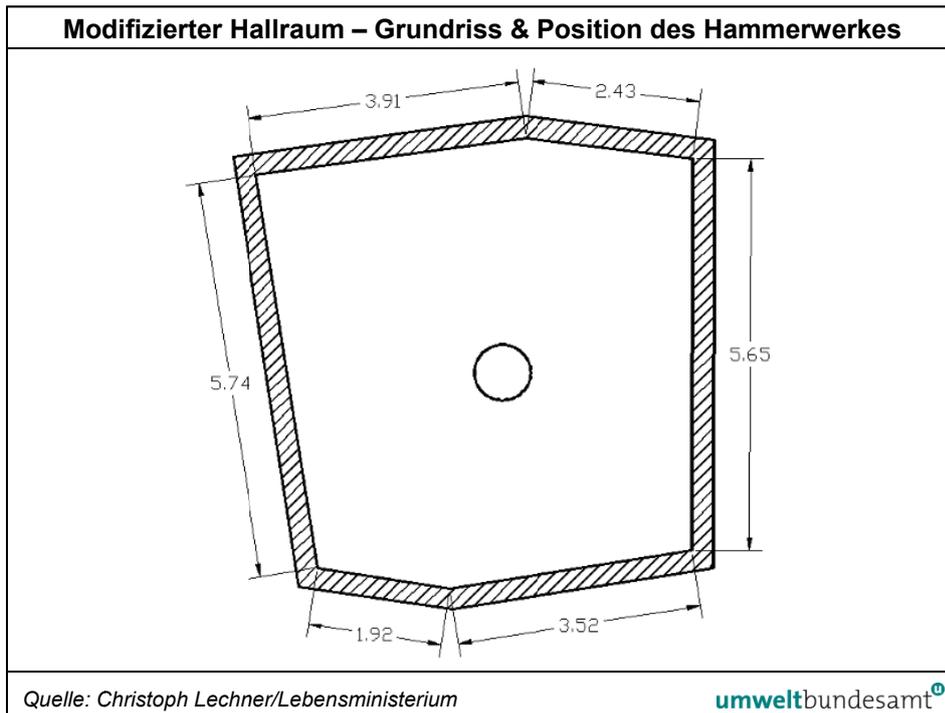


Abbildung 8: Grundriss des modifizierten Hallraumes mit Situierung des Hammerwerkes.

### 5.3 Kontrolle der Schallemission

Während des gesamten Ringversuchs wurde in beiden Prüfräumen je ein Kontrollmikrofon betrieben. Dies wurde vor und nach Durchführung einer Messreihe durch eine Prüfzelle auch kalibriert. Es wurde jeweils dieselbe Prüfschallquelle verwendet und die Kontrollmikrofone wurden fix installiert. Dadurch war es möglich, allfällige Schwankungen in der Schallabstrahlung zu belegen und Ausreißer oder Abweichungen einzelner Prüfungen zu begründen. In der nachstehenden Tabelle 4 sind die Messwerte der Kalibrierpegel und der Kontrollmessungen für jeden Messtag wiedergegeben.

Tabelle 4: Werte der Kalibrierpegel und Messwerte der Kontrollmikrofone für jeden Messtag (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Datum der Messreihe	Kalibriersignal im modifizierten Hallraum vorher	Kalibriersignal im reflexionsarmen Raum vorher	Hammerwerk im modifizierten Hallraum vorher	Hammerwerk im reflexionsarmen Raum vorher	Hammerwerk im modifizierten Hallraum nachher	Hammerwerk im reflexionsarmen Raum nachher
17.08.2010	93,8	93,8	106,0	84,5	106,0	85,0
18.08.2010	93,8	93,8	106,0	85,3	105,9	85,0
24.08.2010	93,8	93,8	106,1	86,3	106,1	86,0
25.08.2010	93,8	93,8	106,1	86,1	106,0	85,9
26.08.2010	93,8	93,8	106,0	86,1	105,8	85,8
01.09.2010	93,8	93,8	106,0	86,3	105,8	85,8
02.09.2010	93,8	93,8	106,3	86,2	106,3	86,1
06.09.2010	93,8	93,8	106,0			
07.09.2010	93,8	93,8	106,2	86,4	106,2	86,2
08.09.2010	93,8	93,9	106,2	86,4	106,2	86,1
10.09.2010	93,8	93,8	106,2	86,4	106,2	86,1
13.09.2010	93,8	93,9	106,4	86,4	106,4	86,2
14.09.2010	93,8	93,8	106,3	86,4	106,3	86,2
15.09.2010	93,8	93,8	106,3	86,3	106,0	85,8
16.09.2010	93,8	93,8	106,3	85,9	106,1	85,9
17.09.2010	93,8	93,8	106,2	86,0	106,2	85,9
20.09.2010	93,8	93,8	106,2	86,1		
22.09.2010	93,8	93,8	106,2	86,3	106,2	86,1

In der nachstehenden Abbildung 9 ist der Verlauf der Prüf- und Kontrollpegel über die einzelnen Messtage grafisch dargestellt.

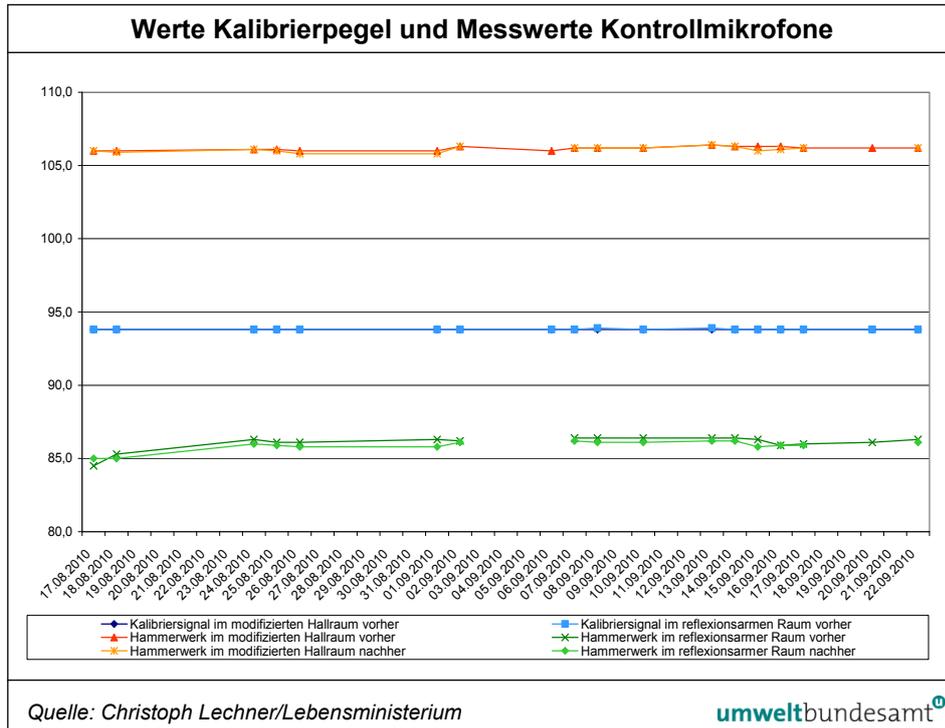


Abbildung 9: Werte der Kalibrierpegel und Messwerte der Kontrollmikrofone (in dB).

Im Vergleich zu den im Rahmen dieses Berichtes ermittelten Vertrauensbereichen sind die Schwankungen der Schallquellen sehr gering. Fehleranteile aufgrund unzureichender Wiederhol- oder Vergleichsbedingungen sind nicht anzunehmen. Ein Ausfall der Hammerwerk-Kontrollmessung im reflexionsarmen Raum im zeitlich mittleren Verlauf des Ringversuches zeigt keine Anhaltspunkte, dass zwischenzeitlich eine Änderung des Emissionsverhaltens aufgetreten wäre.

**geringe  
Schwankungsbreite  
der Schallquellen**

## 6 STATISTISCHE BERECHNUNGEN

Die Vorbereitung und Auswertung des Ringversuches erfolgte sinngemäß nach ÖNORM EN 20140-2. Die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichspräzision erfolgte gemäß der DIN ISO 5725-1. Die Behandlung statistischer Ausreißer erfolgte nach DIN ISO 5725-2.

### 6.1 Kennwerte

Aus den einzelnen Messergebnissen jeder Prüfstelle bzw. jedes Messteams wurden Mittelwert und Standardabweichung für alle untersuchten Merkmale ermittelt. Aus den Standardabweichungen wurde die laborinterne Varianz berechnet und daraus die „Wiederholgrenze r“ festgelegt.

**Wiederholgrenze r** Definition der „Wiederholgrenze r“: Betrag, unter dem der Absolutwert der Differenz zwischen zwei einzelnen unter Wiederholbedingungen gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann.

Aus den erhobenen Mittelwerten und den Mittelwerten der laborinternen Varianzen konnte die Varianz zwischen den teilnehmenden Prüfstellen erhoben und daraus die „Vergleichsgrenze R“ abgeleitet werden.

**Vergleichsgrenze R** Definition der „Vergleichsgrenze R“: Betrag, unter dem der Absolutwert der Differenz zwischen zwei einzelnen unter Vergleichsbedingungen gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann.

Werden r und R von einer Prüfstelle nicht überschritten, können aus der Vergleichsgrenze und der Wiederholgrenze Vertrauensbereiche für bestimmte Situationen berechnet werden.

Das bedeutet unter anderem: Wird von einem **einzelnen** Laboratorium nur eine einzige Ermittlung  $\gamma$  der zu messenden Größe durchgeführt, ist der **Vertrauensbereich** für den wahren Wert  $\mu$  (z. B. eine Anforderung oder ein in einem Vertrag festgelegter Wert):

$$\left( \gamma - \frac{R}{\sqrt{2}} \right) < \mu < \left( \gamma + \frac{R}{\sqrt{2}} \right)$$

## 6.2 Begriffserläuterungen

Vor allem in der folgenden Darstellung werden statistische Begriffe verwendet, die nicht allgemein geläufig sind. Es werden daher die verwendeten Begriffe vorab erläutert.<sup>1</sup>

### 6.2.1 Standardabweichung

Die Standardabweichung ist die Wurzel aus der Varianz eines Datenbündels. Durch das Wurzelziehen wird die Quadrierung der Abweichungen „rückgängig gemacht“, sodass die Standardabweichung die gleiche Maßeinheit hat wie die Datenwerte selbst.

Wie bei der Varianz ist zu unterscheiden zwischen der Standardabweichung, die die gegebenen Daten charakterisiert („empirische Standardabweichung“) und der Standardabweichung, die aus Stichprobendaten als Schätzwert für die Grundgesamtheit berechnet wird. Es gilt also:

Empirische Standardabweichung:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardabweichung als Schätzung für die Grundgesamtheit:

$$S(\text{oder } \hat{\sigma}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

### 6.2.2 Varianz

Die Varianz

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

ist die Summe der quadrierten Abweichungen der einzelnen Werte eines Datenbündels vom Mittelwert, dividiert durch die Anzahl der Beobachtungen  $n$ . Die Varianz ist also ein Maß dafür, wie weit die einzelnen Werte im Durchschnitt vom Mittelwert entfernt liegen; es handelt sich mithin um ein Streuungsmaß.

Die oben angegebene Formel charakterisiert ein gegebenes Datenbündel. Handelt es sich bei den Daten um eine Stichprobe und soll ein Schätzwert für die Varianz in der Grundgesamtheit berechnet werden, so wird die Größe

$$S^2(\text{oder } \hat{\sigma}^2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

herangezogen.

---

<sup>1</sup> Die Bezugsquelle ist das ILMES – Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung. <http://www.lrz-muenchen.de/~wlm/ilmes.htm>.

Ein Konfidenzintervall für die Varianz in einer Grundgesamtheit lässt sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha$  folgendermaßen bestimmen:

Untere Grenze:

$$\frac{(n-1)S^2}{\chi_{1-\alpha/2}^2(n-1)}$$

Obere Grenze:

$$\frac{(n-1)S^2}{\chi_{\alpha/2}^2(n-1)}$$

Die Varianz kann sinnvollerweise nur bei metrischen Daten berechnet werden. Jedoch lassen sich Abwandlungen davon als allgemeine Ausdrücke der „Variabilität“ von Daten auch auf andere Daten anwenden.

### 6.2.3 Median (auch: Zentralwert)

Der Median ist der „mittlere“ Wert eines (der Größe nach geordneten) Datenbündels; anders gesagt: derjenige Wert, unter- und oberhalb dessen jeweils die Hälfte der Datenwerte liegt. Liegt eine ungerade Anzahl von Datenwerten vor, ist der Median im Wortsinn der mittlere Wert; bei einer geraden Anzahl wird er in geeigneter Weise „interpoliert“ (siehe die einschlägigen Lehrbücher). Der Median ist identisch mit dem 50 %-Quantil.

Es handelt sich beim Median um ein Lagemaß. Er ist weniger gegen einzelne stark abweichende Werte anfällig als das arithmetische Mittel und daher oft besser als dieses geeignet, die zentrale Tendenz eines Datenbündels zu charakterisieren.

### 6.2.4 Quartil

Quartile teilen ein der Größe nach geordnetes Datenbündel in vier Teile. Das 25 %-Quartil (oft auch als 1. Quartil bezeichnet) gibt denjenigen Wert an, der das untere Viertel der Datenwerte von den oberen drei Vierteln trennt, usw. Das 50 %-Quartil (oder 2. Quartil) ist der Median. Der Abstand zwischen dem 25 %-Quartil und dem 75 %-Quartil (3. Quartil) wird als Interquartilsabstand bezeichnet. Es handelt sich bei Quartilen (mit Ausnahme des Medians) mithin um Streuungsmaße.

### 6.2.5 Interquartilsabstand

Der Interquartilsabstand, manchmal auch Interquartilbereich oder auch nur Quartilabstand genannt, ist der Abstand zwischen dem 25 %-Quartil (oder 1. Quartil) und dem 75 %-Quartil (oder 3. Quartil) eines Datenbündels. Es handelt sich mithin um ein Streuungsmaß. Da nur die „inneren“ 50 % der Daten berücksichtigt werden, ist das Maß gegen einzelne stark abweichende Datenwerte resistent.

### 6.2.6 Konfidenzintervall und Irrtumswahrscheinlichkeit

Die aus Stichproben geschätzten Parameter für eine Grundgesamtheit weichen notwendigerweise fast immer von den wahren Parametern ab. Exakt den „richtigen“ Wert zu erhalten, ist ein recht unwahrscheinliches Ereignis. Man kann jedoch zeigen, dass die meisten Stichprobenwerte nicht sehr weit vom wahren Wert abweichen. Im Rahmen der Statistik wird gezeigt, dass man aus der Stichprobe Intervalle schätzen kann, die den wahren Parameter mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (der Überdeckungswahrscheinlichkeit) enthalten. Diese Intervalle werden als Konfidenzintervalle bezeichnet. Andersherum wird häufig nach der Irrtumswahrscheinlichkeit gefragt, mit der das Intervall den wahren Parameter *nicht* enthält. Man erhält damit Aussagen folgender Art: Mit einer (Irrtums-)Wahrscheinlichkeit von  $p$  enthält das Konfidenzintervall mit der Untergrenze  $G_U$  und der Obergrenze  $G_O$  nicht den wahren Wert. Häufig wählt man für  $p$  einen Wert von 0,05.

Der wahre Wert liegt entweder in dem gegebenen Intervall oder nicht. Eine Aussage über ein Konfidenzintervall ist mit einer (beispielsweise) 95%-igen Überdeckungswahrscheinlichkeit so zu verstehen, dass in 95 % aller Stichproben das Konfidenzintervall den wahren Wert enthält.

### 6.3 Darstellung der Ergebnisse

Mittelwerte und Standardabweichungen sind für alle Messwerte und Prüfstellen im Folgenden in Tabellen angegeben und grafisch in Form von Boxplots dargestellt. Die Darstellung in Tabellenform erfolgt in Kapitel 7, die Boxplots werden als Zusammenfassung in Kapitel 8 behandelt.

### 6.4 Berechnungen zu den beiden Aufgaben

Nach ÖNORM EN 20140-2 soll die Anzahl der teilnehmenden Laboratorien ( $p$ ) mindestens 8 betragen. Es wird jedoch empfohlen, diese Anzahl zu erhöhen, um die Anzahl der erforderlichen Mehrfachmessungen ( $n$ ) zu verringern. Die Anzahl  $n$  der Prüfergebnisse in jedem Laboratorium sollte so gewählt werden, dass  $p(n - 1) \geq 35$  ist.

Im vorliegenden Ringversuch wurden jeweils 5 Mehrfachmessungen erbeten, wobei sich alle Prüfstellen an diese Vorgabe hielten. Nach obigem Kriterium ergibt sich  $p(n - 1) = 22(5 - 1) = 88 \gg 35$ .

Die geforderte Anzahl von teilnehmenden Laboratorien und Mehrfachmessungen wurde in Kombination bei Weitem überschritten. Dies garantiert eine hohe statistische Qualität dieses Ringversuches. Auch einzelne Eliminierungen von Ausreißern führen noch lange nicht dazu, dass obige Bedingung nicht mehr erfüllt werden könnte.

**garantiert hohe  
statistische Qualität**

Aus den Mittelwerten der Standardabweichungen wurden für jede Prüfstelle die laborinterne Varianz und daraus die Wiederholgrenze  $r$  berechnet.

Die Varianz zwischen den teilnehmenden Prüfstellen wurde aus den Mittelwerten der einzelnen Messergebnisse und dem Mittelwert der laborinternen Varianz berechnet. Aus der Varianz zwischen den Prüfstellen leitet sich die Vergleichsgrenze R ab.

## 6.5 Behandlung von Ausreißern

**Cochran-Test** Potenzielle Ausreißer wurden mittels Cochran-Test ermittelt und als auffällig markiert. Diese Daten wurden aber nicht automatisch selektiert, sondern einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Durch die Markierungen von Ausreißern und potenziellen Ausreißern zeigten sich einzelne Prüfstellen als verdächtig. In den Rohdaten wurden die Ursachen der Cochran-Test-Merkmale gesucht. Es zeigte sich, dass einzelne Messungen und nicht nur einzelne Merkmale erhebliche Abweichungen aufwiesen, weshalb nicht nur einzelne Messdaten aus den Zellen entfernt wurden sondern alle Merkmale (Messwerte) dieser Messung. Darüber hinaus wurden auch echte Ausreißer als Einzelwerte eliminiert.

Im Einzelnen waren dies:

- Prüfstelle 2: Messung reflexionsarmer Raum gesamte Messung 3,
- Prüfstelle 9: Messung modifizierter Hallraum Oktavbandwerte gesamte Messung 2,
- Prüfstelle 11: Messung modifizierter Hallraum einzelne Messwerte,
- Prüfstelle 18: Messung reflexionsarmer Raum gesamte Messung 3.

Es zeigte sich, dass einige der durch den Cochran-Test selektierten Ausreißer gar keine echten Ausreißer waren und der weiteren statistischen Bearbeitung unterzogen werden konnten. Im Besonderen sind hier die Rundungsbestimmungen der Aufgabenstellung zu erwähnen. Wenn Werte auf 1/10 dB anzugeben sind, liegen Abweichungen in dieser Größenordnung dem Grund nach nicht in der fehlenden Präzision. Tatsächliche Ausreißer wurden eliminiert und dienen nicht der statistischen Analyse.

**Grubbs-Test** Zur Prüfung möglicher Ausreißer unter den Prüfstellen wurde auch der Grubbs-Test durchgeführt. Hier wird geprüft, ob die Beobachtung mit dem größten Wert ein Ausreißer ist. Dieser Test wurde auch für den kleinsten Wert durchgeführt. Nach diesem Test ergaben sich wieder Ausreißer, welche wie folgt eliminiert wurden:

- Prüfstelle 1: Messung modifizierter Hallraum alle Messungen,
- Prüfstelle 4: Spektrenangaben bei beiden Aufgaben zur Gänze,
- Prüfstelle 6: alle Oktavbandpegel bei der Messung im modifizierten Hallraum,
- Prüfstelle 13: alle Oktavbänder bei beiden Messaufgaben,
- Prüfstelle 15: alle Oktavbandpegel bei der Messung im modifizierten Hallraum,
- Prüfstelle 18: Oktavbandpegel im 63 Hz Band bei der Messung im modifizierten Hallraum.

## 7 ERGEBNISSE DER EINZELNEN AUFGABEN

### 7.1 Messung im reflexionsarmen Raum

#### 7.1.1 Mittelwerte

Tabelle 5: Messung im reflexionsarmen Raum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	in dB											
1	64,6	63,2	66,2	60,7	61,6	63,3	68,3	76,2	79,1	87,5	91,3	90,4
2	64,1	61,6	65,0	60,6	61,6	63,7	68,0	77,2	79,1	88,4	91,7	89,2
3	64,0	61,7	64,2	59,9	59,0	60,6	66,8	73,6	77,1	86,5	88,9	88,0
4	43,1	43,3	45,6	44,4	46,5	50,2	56,4	67,5	72,2	83,5	88,0	87,1
5	64,6	64,3	67,3	62,1	62,3	64,7	69,7	77,2	78,9	88,6	91,8	89,4
6	61,4	58,5	62,6	59,1	60,0	63,6	68,1	74,4	75,9	87,9	90,3	86,7
7	64,4	62,0	64,1	60,8	60,0	63,1	69,4	75,4	79,1	87,5	91,1	89,0
8	63,3	61,7	65,3	60,7	61,7	65,0	69,7	77,2	79,1	88,7	92,8	90,5
9	64,7	63,7	66,0	62,4	62,4	64,1	68,3	75,4	79,1	88,2	90,9	90,0
10	64,7	62,7	65,9	61,5	62,4	63,9	67,4	75,7	78,9	88,5	90,9	90,0
11	63,7	62,9	67,6	61,8	62,0	65,0	69,0	75,4	77,9	87,6	90,8	89,6
12	64,5	61,7	65,2	60,6	62,0	64,1	67,8	77,2	79,4	88,4	91,7	89,5
13	62,6	60,6	64,4	59,0	60,0	63,2	67,6	75,6	78,1	87,9	90,8	89,9
14	63,4	61,0	64,9	60,5	61,0	63,5	67,6	76,7	79,0	88,4	91,3	88,9
15	61,8	60,1	64,4	59,6	60,0	62,9	67,6	74,6	77,7	89,0	91,1	87,8
16	63,1	61,4	66,0	60,4	61,5	63,2	68,7	77,0	79,4	88,9	92,0	89,6
17	63,8	61,7	64,6	59,7	60,9	62,3	67,0	75,2	77,7	87,5	90,3	89,2
18	66,7	64,7	66,6	62,7	62,0	64,6	69,4	75,8	79,2	87,6	91,2	89,3
19	62,9	61,9	66,0	59,4	61,0	62,8	67,7	75,5	78,5	88,2	91,2	89,8
20	64,4	62,4	63,9	59,7	59,0	62,1	67,1	74,0	77,8	87,1	89,8	88,6
21	64,3	62,2	65,4	60,7	62,0	64,5	69,1	78,1	80,4	90,2	93,4	90,1
22	63,7	61,2	65,4	60,4	60,8	63,9	68,2	75,8	78,9	88,7	92,1	90,7

Tabelle 6: Messung im reflexionsarmen Raum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz	6.300 Hz	8.000 Hz	10.000 Hz
	in dB											
1	91,7	92,8	97,9	99,6	101,1	100,4	102,1	98,3	99,1	95,5	94,3	89,8
2	91,1	91,3	96,9	97,9	101,1	101,3	102,1	100,0	99,2	93,7	91,4	87,2
3	89,4	90,2	93,1	96,7	95,8	99,3	100,1	96,6	96,2	94,8	89,9	85,2
4	89,9	90,7	98,0	99,2	101,9	101,8	103,8	100,5	99,7	93,8	89,7	85,4
5	90,6	91,1	97,4	98,1	100,5	99,5	102,3	100,9	100,3	94,0	92,5	89,1
6	88,7	88,4	94,1	96,4	99,1	98,7	101,5	99,5	98,6	93,6	90,9	86,5
7	89,9	89,6	96,1	96,6	99,8	99,8	101,2	99,6	98,8	92,9	90,4	87,7
8	90,6	91,3	97,4	98,5	101,8	100,6	103,0	100,5	99,9	94,9	92,5	89,4
9	90,1	90,7	96,9	97,6	100,1	99,9	101,5	99,5	99,3	94,6	91,7	89,6
10	89,3	90,4	95,8	97,3	100,9	99,8	102,0	99,7	99,0	93,5	90,3	87,9
11	90,6	90,7	96,4	95,4	97,4	96,7	98,9	98,7	97,5	95,9	92,2	89,2
12	91,3	91,8	97,3	98,3	101,3	101,5	101,8	99,9	99,1	94,4	92,1	88,1
13	90,8	90,4	95,7	95,4	96,8	95,8	97,6	97,5	97,0	94,1	91,5	88,5
14	90,7	90,9	96,8	97,6	101,0	101,3	102,1	100,1	99,4	94,0	91,1	86,8
15	88,2	88,4	95,1	95,1	97,7	96,7	100,1	97,7	96,8	92,4	90,1	85,8
16	90,8	91,2	97,6	98,0	101,3	100,9	103,2	100,9	100,3	94,8	92,4	89,0
17	90,3	90,6	95,2	97,4	96,2	99,6	100,2	97,4	98,3	95,8	91,6	88,4
18	90,4	90,5	96,8	97,2	100,0	99,7	101,3	98,9	98,8	93,8	89,5	86,0
19	91,0	91,5	96,2	98,2	96,9	99,0	101,5	99,5	97,2	95,6	91,7	88,5
20	89,7	89,6	94,3	96,0	94,8	98,2	98,9	96,3	96,7	94,9	91,5	88,6
21	90,6	90,0	97,6	96,4	99,3	100,2	102,6	100,8	99,8	92,2	88,8	86,7
22	90,7	91,5	96,4	95,1	96,7	95,7	99,3	97,4	97,3	95,2	92,1	89,9

Tabelle 7: Messung im reflexionsarmen Raum, Mittelwerte der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	A
	in dB								
1	69,6	66,8	81,1	94,8	99,8	105,1	104,9	98,6	110,1
2	68,6	67,0	81,5	94,8	98,8	105,1	105,4	96,3	110,0
3	68,3	64,7	79,0	92,7	96,0	102,3	102,8	96,4	107,4
4	48,9	52,5	73,6	91,3	99,3	105,9	106,5	95,7	109,9
5	70,4	68,0	81,5	94,9	99,0	104,3	106,0	97,0	110,0
6	65,9	66,2	78,6	93,4	96,1	103,0	104,8	96,0	108,7
7	68,4	66,3	80,9	94,2	97,8	103,7	104,8	95,6	109,0
8	68,4	67,6	81,6	95,7	99,1	105,4	106,0	97,6	110,5
9	64,9	63,0	76,1	89,9	93,7	99,3	100,2	92,4	109,4
10	69,4	67,5	80,8	94,7	97,6	104,4	105,2	95,9	109,5
11	70,0	67,9	80,2	94,3	98,3	101,4	103,2	98,1	107,6
12	68,8	67,3	81,6	94,9	99,1	105,4	105,2	97,0	110,1
13	60,6	60,0	75,6	90,8	90,4	96,8	97,5	91,5	106,2
14	68,1	66,7	81,2	94,5	98,5	105,0	105,6	96,4	110,0
15	67,3	65,9	79,7	94,3	96,6	101,4	103,2	95,0	107,3
16	68,7	66,6	81,6	95,1	99,2	105,1	106,4	97,4	110,6
17	68,3	65,8	79,9	93,9	97,4	102,7	103,6	97,7	107,4
18	72,3	69,4	82,5	95,7	99,9	105,3	106,0	97,0	109,2
19	68,7	66,1	80,5	94,7	98,3	102,9	104,5	97,7	108,8
20	68,4	65,3	79,5	93,4	96,6	101,4	102,2	97,2	107,0
21	68,9	67,5	82,6	96,3	99,0	103,7	106,0	94,6	109,8
22	68,8	67,9	79,9	94,4	97,6	100,9	102,7	97,8	107,2

### 7.1.2 Standardabweichungen

Tabelle 8: Messung im reflexionsarmen Raum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	in dB											
1	0,36	0,30	0,47	0,22	0,21	0,15	0,11	0,08	0,15	0,07	0,17	0,05
2	1,06	0,99	0,70	1,26	1,31	0,82	1,81	1,11	0,41	0,21	0,33	0,16
3	0,63	0,74	0,96	0,48	0,25	0,16	0,37	0,18	0,19	0,24	0,14	0,06
4	1,92	2,29	1,68	2,49	2,25	1,29	0,39	0,23	0,07	0,08	0,15	0,17
5	0,74	0,59	0,75	0,30	0,32	0,22	0,31	0,36	0,42	0,23	0,33	0,59
6	0,45	0,74	0,54	0,48	0,32	0,36	0,22	0,47	0,56	0,17	0,58	0,23
7	0,47	0,19	0,64	0,15	0,34	0,28	0,49	0,29	0,26	0,24	0,25	0,30
8	0,62	0,28	0,62	0,74	0,13	0,37	0,30	0,41	0,53	0,48	0,16	0,49
9	0,48	0,84	0,49	0,33	0,31	0,63	0,50	0,31	0,36	0,49	0,45	0,46
10	0,54	0,28	0,26	0,30	0,22	0,23	0,30	0,35	0,22	0,80	0,13	0,17
11	0,49	0,25	0,59	0,16	0,16	0,24	0,56	0,54	0,39	0,71	0,67	0,84
12	0,37	0,69	0,64	0,47	0,75	0,93	0,34	0,25	0,20	0,12	0,06	0,15
13	0,90	0,73	0,66	0,30	0,66	0,39	0,43	0,33	0,16	0,42	0,24	0,19
14	0,44	0,59	0,77	0,64	0,50	0,28	1,07	0,32	0,13	0,16	0,10	0,05
15	0,60	0,83	0,36	0,24	0,59	0,29	0,59	0,33	0,55	0,53	1,10	1,03
16	0,24	0,33	0,33	1,12	0,19	0,12	0,17	0,18	0,18	0,21	0,07	0,04
17	0,53	0,37	0,73	0,28	0,36	0,27	0,13	0,29	0,15	0,13	0,22	0,18
18	2,22	2,72	1,56	2,80	2,79	1,53	0,56	0,08	0,21	0,26	0,15	0,82
19	0,33	0,30	0,09	0,28	0,20	0,16	0,29	0,13	0,08	0,22	0,06	0,05
20	0,61	0,36	0,53	0,22	0,23	0,38	0,40	0,12	0,05	0,15	0,15	0,23
21	0,57	1,04	0,94	0,43	0,38	0,13	0,41	0,92	0,80	0,84	0,97	0,86
22	0,30	0,47	0,71	0,35	0,49	0,38	0,61	0,72	0,91	0,84	0,99	0,48

Tabelle 9: Messung im reflexionsarmen Raum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr..	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz	6.300 Hz	8.000 Hz	10.000 Hz
	in dB											
1	0,05	0,04	0,11	0,05	0,04	0,07	0,08	0,04	0,15	0,08	0,07	0,15
2	0,20	0,06	0,20	0,10	0,12	0,09	0,25	0,11	0,28	0,07	0,11	0,13
3	0,04	0,10	0,18	0,14	0,14	0,11	0,26	0,20	0,26	0,50	0,63	0,42
4	0,13	0,17	0,17	0,47	0,52	0,79	0,55	0,95	1,19	0,43	0,39	0,29
5	0,29	0,15	0,27	0,08	0,13	0,14	0,36	0,22	0,54	0,35	0,15	0,40
6	0,36	0,39	0,88	0,70	0,26	0,54	0,36	0,41	0,33	0,22	0,61	0,49
7	0,30	0,23	0,15	0,24	0,17	0,21	0,22	0,36	0,26	0,36	0,30	0,52
8	0,47	0,62	0,66	0,37	0,24	0,40	0,44	0,28	0,49	0,33	0,28	0,27
9	0,50	0,29	0,33	0,22	0,29	0,29	0,18	0,25	0,31	0,21	0,15	0,29
10	0,16	0,12	0,26	0,20	0,17	0,19	0,25	0,25	0,17	0,28	0,18	0,30
11	0,70	0,78	0,74	0,19	0,34	0,50	0,13	0,40	0,38	0,55	0,52	0,46
12	0,15	0,10	0,08	0,10	0,11	0,14	0,18	0,11	0,15	0,33	0,39	0,14
13	0,16	0,20	0,12	0,24	0,13	0,32	0,44	0,31	0,58	0,60	0,57	0,66
14	0,04	0,13	0,13	0,14	0,12	0,07	0,12	0,17	0,26	0,12	0,14	0,18
15	0,48	0,37	1,11	0,63	0,25	0,35	0,31	0,52	0,44	0,62	0,29	0,53
16	0,09	0,11	0,06	0,09	0,05	0,10	0,15	0,10	0,15	0,08	0,12	0,23
17	0,22	0,19	0,19	0,21	0,15	0,08	0,17	0,23	0,22	0,20	0,30	0,51
18	0,94	1,34	1,00	0,76	0,38	0,23	0,77	1,67	0,60	2,05	1,25	0,50
19	0,06	0,10	0,13	0,09	0,12	0,38	0,40	0,13	0,16	0,42	0,29	0,11
20	0,11	0,16	0,23	0,32	0,23	0,09	0,15	0,11	0,23	0,34	0,72	0,52
21	0,67	0,42	0,68	0,40	0,36	0,56	0,73	0,56	0,70	0,54	0,79	1,38
22	0,60	0,36	0,74	0,35	0,50	0,29	0,45	0,45	0,23	0,48	0,44	0,36

Tabelle 10: Messung im reflexionsarmen Raum, Standardabweichungen der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzulangabe (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	A
	in dB								
1	0,29	0,12	0,12	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04
2	0,74	1,05	0,76	0,22	0,14	0,09	0,21	0,07	0,12
3	0,73	0,17	0,13	0,10	0,11	0,08	0,16	0,45	0,10
4	1,90	1,76	0,07	0,13	0,16	0,05	0,33	0,25	0,17
5	0,29	0,19	0,36	0,34	0,24	0,11	0,10	0,19	0,05
6	0,50	0,32	0,37	0,37	0,54	0,44	0,26	0,34	0,27
7	0,10	0,16	0,25	0,25	0,18	0,19	0,24	0,32	0,20
8	0,37	0,34	0,46	0,10	0,41	0,17	0,31	0,25	0,20
9	0,55	0,37	0,31	0,18	0,34	0,26	0,23	0,20	0,25
10	0,16	0,15	0,20	0,29	0,20	0,17	0,22	0,24	0,20
11	0,29	0,13	0,44	0,65	0,61	0,15	0,26	0,38	0,19
12	0,33	0,77	0,17	0,08	0,09	0,10	0,13	0,30	0,07
13	0,73	0,66	0,33	0,24	0,20	0,13	0,31	0,57	0,22
14	0,47	0,39	0,26	0,08	0,10	0,10	0,15	0,07	0,07
15	0,38	0,30	0,45	0,85	0,79	0,31	0,36	0,48	0,27
16	0,23	0,31	0,15	0,08	0,07	0,05	0,06	0,08	0,05
17	0,47	0,25	0,22	0,15	0,18	0,09	0,11	0,25	0,05
18	2,41	2,44	0,68	0,47	0,30	0,53	1,71	1,04	0,07
19	0,16	0,08	0,10	0,08	0,10	0,14	0,22	0,20	0,16
20	0,42	0,23	0,09	0,15	0,13	0,10	0,11	0,48	0,07
21	0,75	0,12	0,82	0,90	0,64	0,42	0,56	0,43	0,36
22	1,47	1,00	0,30	0,32	0,11	0,15	0,29	0,26	0,11

## 7.2 Messung im modifizierten Hallraum

### 7.2.1 Mittelwerte

Tabelle 11: Messung im modifizierten Hallraum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	in dB											
1	79,8	96,6	104,7	99,8	100,0	101,9	99,8	105,2	105,6	100,9	104,8	110,0
2	66,7	85,5	92,1	89,6	88,2	90,2	88,8	93,0	95,1	90,3	95,2	101,0
3	63,5	81,5	88,2	86,4	86,9	92,2	89,2	93,7	95,9	90,5	95,8	101,2
4	42,0	57,4	65,5	65,2	71,1	78,5	78,0	85,4	89,9	85,3	92,1	99,2
5	68,4	84,0	86,8	86,4	90,2	91,1	89,2	94,9	95,7	91,5	96,5	101,8
6	69,3	86,2	93,0	89,5	89,7	92,5	90,8	95,3	95,9	92,0	97,2	102,9
7												
8	69,1	84,9	92,3	89,2	87,9	89,7	86,2	91,3	91,8	87,0	91,9	96,5
9	72,3	87,5	91,0	88,3	88,8	93,4	90,9	94,6	95,6	90,8	95,8	101,0
10	73,2	89,2	95,0	92,1	91,4	93,2	89,4	94,7	95,8	91,3	96,1	100,7
11	71,3	85,9	92,9	92,3	93,9	94,9	92,4	97,8	98,8	94,0	98,4	102,7
12	67,1	85,7	92,3	89,7	88,2	90,4	88,7	93,1	95,1	90,3	95,2	101,0
13	68,9	83,6	90,7	87,6	87,5	90,2	90,2	94,8	95,9	92,6	96,8	102,0
14	67,2	85,5	92,1	89,2	88,1	90,5	88,8	93,3	95,1	90,3	95,2	100,9
15	69,9	87,7	94,6	90,9	91,0	92,9	89,5	96,1	96,9	93,2	97,3	102,8
16												
17	69,7	84,0	91,1	89,5	91,9	96,8	94,0	97,9	99,1	94,3	98,3	103,1
18	76,9	92,4	96,9	87,1	87,6	94,3	90,5	94,9	96,1	90,7	96,0	101,0
19												
20	69,9	82,6	88,0	87,3	88,7	93,4	90,4	95,1	98,2	92,5	97,7	102,5
21	67,0	83,2	93,3	90,0	88,7	91,7	90,0	95,8	97,6	92,6	97,3	102,6
22												

Tabelle 12: Messung im modifizierten Hallraum, Mittelwerte der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	800 Hz	1.000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz	6.300 Hz	8.000 Hz	10.000 Hz
	in dB											
1	111,5	112,6	109,9	111,7	111,9	110,6	107,6	108,8	105,4	101,6	98,4	94,4
2	102,6	103,7	101,2	102,8	103,2	102,1	98,4	100,7	97,2	93,7	90,7	87,8
3	103,5	104,4	101,1	102,2	102,7	101,0	96,9	98,7	95,5	91,0	88,5	84,6
4	102,4	104,5	102,0	103,4	104,1	102,5	98,8	100,1	96,5	91,4	87,9	82,9
5	103,9	105,1	101,9	103,4	103,6	102,9	99,4	101,0	98,0	94,2	91,0	87,6
6	104,7	105,6	102,4	104,3	105,0	103,4	100,4	103,0	100,4	96,8	94,4	91,5
7												
8	98,4	100,1	96,7	98,2	99,0	97,8	94,8	96,2	93,4	90,0	88,0	85,3
9	102,7	104,7	102,7	103,2	104,0	101,8	98,1	100,2	98,7	93,9	92,3	89,6
10	101,8	104,1	101,1	102,5	103,4	102,2	99,0	100,1	97,3	93,8	91,8	89,2
11	105,0	105,8	103,2	105,0	105,1	103,7	100,7	101,4	98,1	93,8	90,5	86,5
12	102,6	103,7	101,2	102,9	103,2	102,2	98,4	100,6	97,0	93,7	90,8	88,1
13	105,2	106,1	102,5	104,2	104,6	103,1	100,2	101,2	98,0	94,5	91,4	88,0
14	102,4	103,7	101,3	102,8	103,3	102,3	98,6	100,9	97,7	93,9	90,9	87,6
15	105,5	106,1	102,7	104,7	105,4	103,8	100,7	102,3	99,7	96,4	93,9	91,9
16												
17	105,5	107,1	103,7	104,5	105,0	103,3	99,6	100,3	97,5	92,9	90,4	86,0
18	104,3	104,4	101,2	103,2	103,5	101,9	97,0	98,9	98,5	93,4	93,3	89,0
19												
20	105,2	106,3	102,9	103,8	104,5	103,3	99,6	100,8	98,4	94,7	94,1	91,4
21	105,1	106,4	102,9	105,0	105,6	104,2	101,3	103,2	99,8	96,9	94,2	91,3
22												

Tabelle 13: Messung im modifizierten Hallraum, Mittelwerte der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	A
	in dB								
1	105,4	105,4	109,0	111,5	116,3	116,2	112,3	103,8	121,1
2	99,9	94,1	97,6	102,1	107,4	107,5	103,8	96,2	112,2
3	89,0	94,1	98,5	102,5	108,0	106,8	102,2	93,5	112,0
4	66,1	79,4	91,5	100,1	107,9	108,2	103,5	93,4	112,1
5	88,6	94,4	98,8	103,3	108,6	108,1	104,4	96,5	113,2
6	70,9	80,8	91,5	101,9	109,1	110,2	107,1	98,8	114,2
7	94,1	99,6	102,7	105,4	110,8	109,3	104,1	94,8	114,6
8	93,1	93,7	95,2	98,1	103,3	103,1	99,7	92,9	108,1
9	88,2	91,2	94,3	97,9	103,8	103,3	99,4	92,6	112,2
10	96,0	97,1	98,8	102,4	107,3	107,5	103,7	96,8	112,2
11	93,7	98,6	101,8	104,4	109,5	109,4	105,1	96,0	114,2
12	92,6	94,2	97,6	102,1	107,4	107,5	103,7	96,3	112,3
13	83,6	87,5	94,8	96,8	106,1	104,6	101,2	91,4	113,9
14	99,8	94,2	97,7	102,0	107,3	107,6	104,0	96,3	112,4
15	72,5	81,5	92,3	102,0	109,6	110,6	106,8	98,5	114,5
16	94,8	98,5	101,3	104,2	109,4	109,3	105,8	99,0	114,3
17	91,9	98,6	102,3	104,8	110,4	109,1	104,1	95,4	114,4
18	100,7	97,5	101,5	104,5	110,5	110,1	105,4	99,5	112,6
19	92,4	95,5	99,4	103,8	109,5	109,2	106,3	100,1	114,3
20	89,2	95,4	100,4	104,0	109,8	108,6	104,5	98,4	113,9
21	92,9	95,0	100,0	103,7	109,8	109,7	106,4	99,6	114,7
22	94,3	99,0	102,5	104,9	109,7	109,5	105,8	99,0	114,5

## 7.2.2 Standardabweichungen

Tabelle 14: Messung im modifizierten Halbraum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 50 Hz bis 630 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
	in dB											
1	0,11	0,24	0,17	0,12	0,15	0,08	0,13	0,12	0,11	0,16	0,08	0,08
2	0,44	0,31	0,09	0,15	0,38	0,29	0,27	0,26	0,29	0,14	0,09	0,26
3	0,27	0,23	0,25	0,19	0,35	0,37	0,27	0,07	0,20	0,13	0,11	0,15
4	0,07	0,91	0,58	0,24	0,29	0,13	0,16	0,11	0,03	0,15	0,08	0,13
5	0,13	0,23	0,15	0,11	0,35	0,04	0,13	0,09	0,07	0,05	0,13	0,11
6	0,25	0,33	0,33	0,17	0,45	0,23	0,43	0,36	0,11	0,36	0,16	0,18
7												
8	0,35	0,44	0,07	0,40	0,16	0,28	0,15	0,10	0,11	0,14	0,19	0,16
9	0,41	0,33	0,33	0,11	0,05	0,17	0,25	0,10	0,12	0,12	0,10	0,32
10	0,27	0,53	0,07	0,05	0,27	0,45	0,17	0,16	0,09	0,13	0,07	0,22
11	1,44	1,07	0,28	0,31	0,86	0,41	0,23	0,48	0,45	0,26	0,16	0,19
12	0,23	0,30	0,36	0,58	0,47	0,32	0,24	0,11	0,20	0,21	0,17	0,19
13	0,12	0,30	0,19	0,22	0,15	0,31	0,27	0,05	0,10	0,13	0,10	0,09
14	0,51	0,28	0,20	0,20	0,23	0,23	0,13	0,13	0,08	0,10	0,06	0,08
15	0,16	0,30	0,18	0,29	0,32	0,33	0,59	0,27	0,50	0,26	0,15	0,27
16												
17	0,69	1,25	0,64	0,55	0,55	0,40	0,41	0,21	0,19	0,94	0,16	0,30
18	0,15	0,17	0,14	0,11	0,28	0,29	0,18	0,22	0,17	0,12	0,08	0,04
19												
20	0,35	0,34	0,17	0,40	0,22	0,16	0,13	0,11	0,08	0,11	0,15	0,10
21	0,21	0,40	0,24	0,22	0,18	0,23	0,20	0,12	0,01	0,14	0,13	0,06
22												

Tabelle 15: Messung im modifizierten Hallraum, Standardabweichungen der Messwerte in den Terzbändern 800 bis 10.000 Hz (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	800 Hz	1000 Hz	1.250 Hz	1.600 Hz	2.000 Hz	2.500 Hz	3.150 Hz	4.000 Hz	5.000 Hz	6.300 Hz	8.000 Hz	10.000 Hz
	in dB											
1	0,12	0,08	0,05	0,05	0,04	0,05	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08	0,09
2	0,08	0,09	0,11	0,14	0,24	0,18	0,20	0,48	0,27	0,26	0,15	0,15
3	0,11	0,11	0,14	0,05	0,07	0,04	0,11	0,21	0,27	0,31	0,23	0,15
4	0,16	0,14	0,10	0,10	0,08	0,10	0,11	0,13	0,16	0,10	0,17	0,14
5	0,05	0,13	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,07	0,08	0,04	0,08
6	0,41	0,16	0,16	0,13	0,19	0,11	0,16	0,09	0,12	0,15	0,11	0,22
7												
8	0,37	0,19	0,17	0,21	0,17	0,13	0,19	0,19	0,16	0,14	0,26	0,23
9	0,20	0,25	0,08	0,12	0,10	0,03	0,06	0,06	0,09	0,05	0,07	0,13
10	0,24	0,17	0,19	0,15	0,07	0,16	0,15	0,07	0,09	0,15	0,06	0,13
11	0,34	0,23	0,28	0,15	0,12	0,12	0,23	0,26	0,22	0,25	0,40	0,66
12	0,26	0,13	0,18	0,20	0,21	0,37	0,30	0,22	0,36	0,44	0,53	0,58
13	0,18	0,06	0,14	0,05	0,10	0,14	0,11	0,07	0,13	0,14	0,11	0,07
14	0,12	0,04	0,07	0,12	0,07	0,06	0,10	0,07	0,12	0,09	0,17	0,20
15	0,40	0,29	0,25	0,22	0,16	0,27	0,27	0,28	0,16	0,22	0,22	0,21
16												
17	0,26	0,33	0,31	0,04	0,09	0,18	0,45	0,05	0,33	0,52	0,24	0,55
18	0,12	0,23	0,20	0,07	0,09	0,15	0,14	0,11	0,07	0,13	0,13	0,22
19												
20	0,08	0,18	0,11	0,07	0,03	0,15	0,13	0,07	0,10	0,08	0,12	0,11
21	0,14	0,29	0,12	0,21	0,23	0,32	0,28	0,27	0,22	0,29	0,34	0,68
22												

Tabelle 16: Messung im modifizierten Hallraum, Standardabweichungen der Messwerte in den Oktavbändern 63 Hz bis 8.000 Hz und A-bewertete Einzahlangabe (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Frequenz/ Prüfstelle Nr.	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz	8.000 Hz	A
	in dB								
1	0,13	0,09	0,08	0,09	0,05	0,04	0,05	0,08	0,04
2	0,09	0,19	0,27	0,20	0,03	0,19	0,35	0,20	0,29
3	0,17	0,25	0,10	0,09	0,07	0,07	0,37	0,24	0,05
4	0,57	0,07	0,02	0,11	0,09	0,06	0,12	0,12	0,06
5	0,08	0,13	0,09	0,09	0,08	0,00	0,04	0,08	0,05
6	0,33	0,10	0,18	0,14	0,20	0,08	0,08	0,08	0,10
7	0,64	0,42	0,09	0,30	0,04	0,09	0,19	0,13	0,07
8	0,09	0,28	0,11	0,13	0,24	0,17	0,15	0,19	0,18
9	0,28	0,79	0,75	0,62	0,77	0,73	0,72	0,70	0,05
10	0,12	0,24	0,10	0,17	0,06	0,10	0,07	0,11	0,06
11	0,40	0,50	0,38	0,13	0,17	0,13	0,22	0,32	0,11
12	0,30	0,37	0,14	0,18	0,18	0,25	0,25	0,48	0,22
13	0,30	0,15	0,05	0,10	0,06	0,10	0,07	0,11	0,06
14	0,12	0,12	0,07	0,05	0,07	0,06	0,10	0,13	0,06
15	0,18	0,27	0,35	0,19	0,29	0,19	0,26	0,22	0,19
16	0,45	0,12	0,15	0,15	0,07	0,05	0,08	0,15	0,05
17	0,62	0,34	0,11	0,16	0,14	0,04	0,24	0,41	0,04
18	0,11	0,13	0,12	0,07	0,15	0,08	0,09	0,13	0,08
19	0,16	0,14	0,06	0,05	0,14	0,08	0,06	0,07	0,08
20	0,15	0,14	0,03	0,08	0,08	0,03	0,05	0,10	0,05
21	0,19	0,10	0,06	0,06	0,17	0,23	0,23	0,35	0,17
22	0,19	0,19	0,09	0,06	0,04	0,07	0,08	0,09	0,05

## 8 BOXPLOTS

### 8.1 Erläuterungen zu den Boxplots

Boxplots stellen eine Häufigkeitsverteilung schematisch dar. Zwischen dem ersten und dritten Quartil wird ein Balken aufgebaut, der somit 50 % der Merkmale umfasst. Der Median wird als Linie innerhalb des Kastens dargestellt. Wieweit die restlichen 50 % der Werte streuen, wird durch die „Ausläufer“ ersichtlich, die vom Balken aus nach oben und unten aufgetragen werden. Die Ausläufer können unterschiedlich weit gezogen werden (manche AutorInnen gehen bis zu den Extremwerten, andere bis zum 10. und 90. Perzentil). In der in diesem Bericht gewählten Darstellungsform beträgt die Länge der Ausläufer maximal das 1,5-fache des Interquartilsabstandes, aber nur soweit Daten vorhanden sind. Werte, die weiter streuen, werden als Ausreißer bezeichnet und als Ring oder Stern dargestellt, je nachdem, ob sie einen 1,5- bis 3-fachen Interquartilsabstand (o) oder mehr als den 3-fachen Interquartilsabstand (\*) aufweisen. Die neben den Symbolen angegebene Nummer dient der Zuordnung zur entsprechenden Prüfstelle.

**Darstellung der Häufigkeitsverteilung**

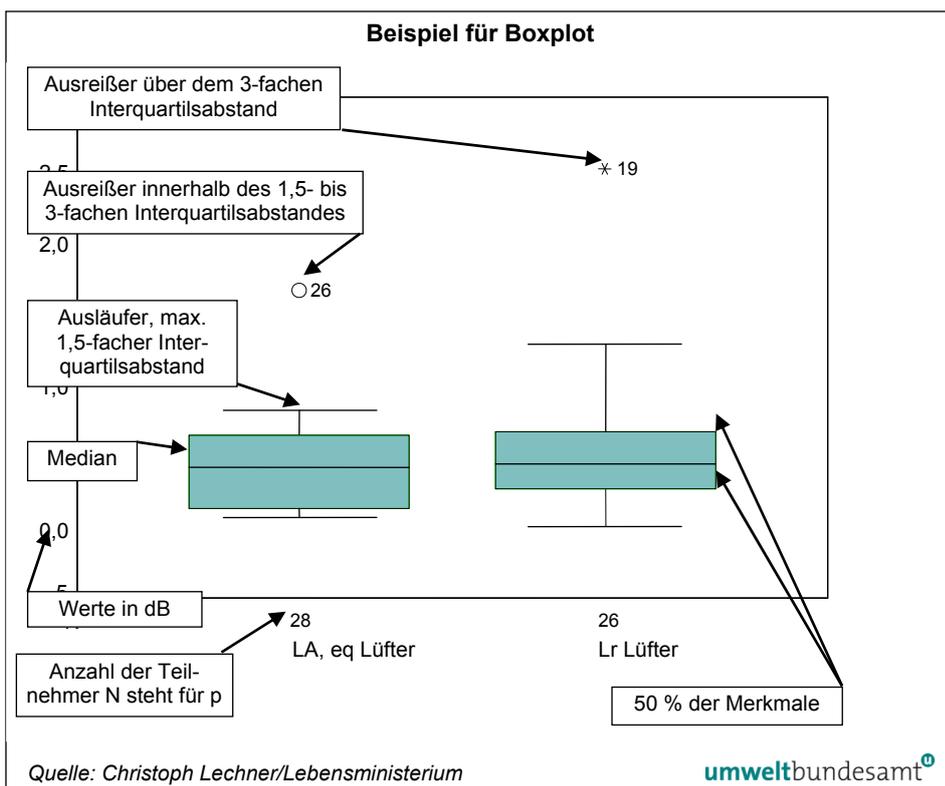


Abbildung 10: Grafische Darstellung der Boxplot-Informationen an einem Beispiel.

## 8.2 Messung im reflexionsarmen Raum

### 8.2.1 Mittelwerte

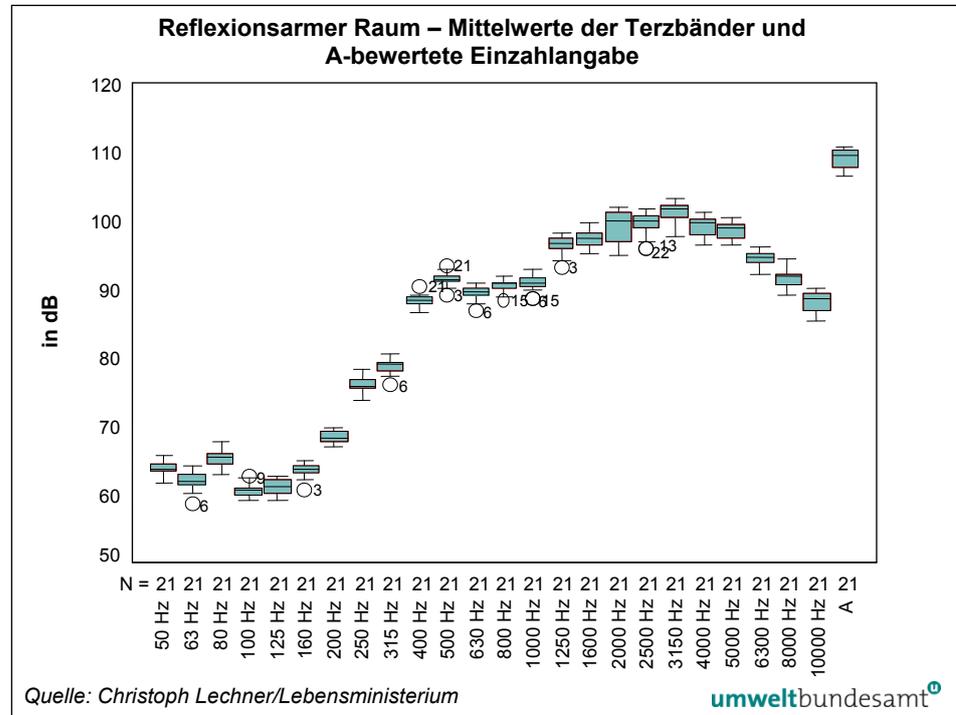


Abbildung 11: Reflexionsarmer Raum, Boxplots: Mittelwerte der Terzbänder und A-bewertete Einzahlangabe (in dB).

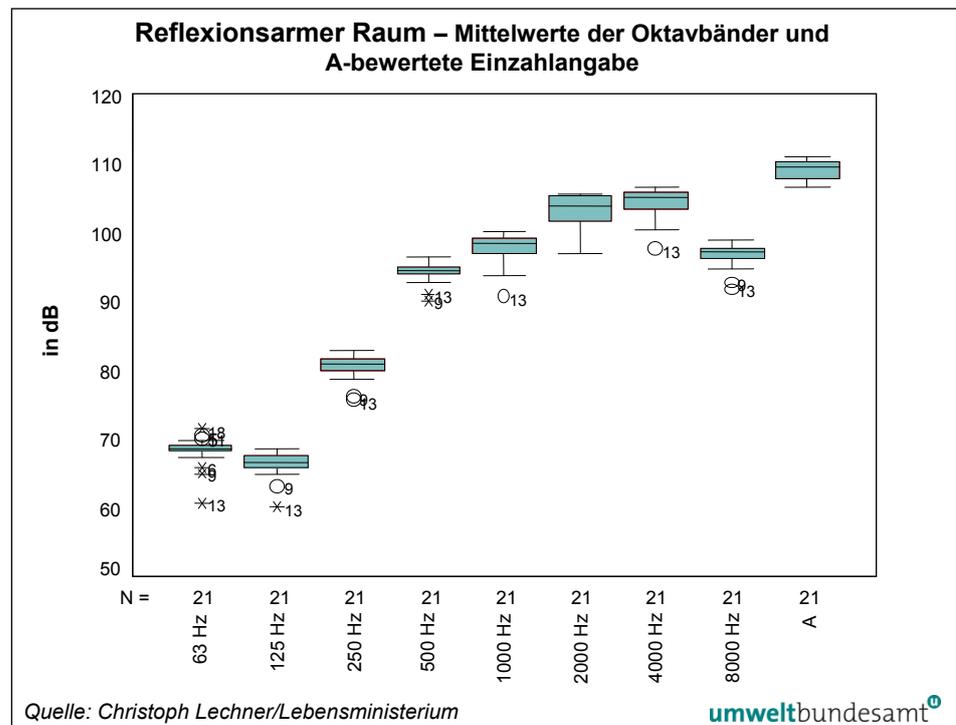


Abbildung 12: Reflexionsarmer Raum, Boxplots: Mittelwerte der Oktavbänder und A-bewertete Einzahlangabe (in dB).





### 8.3.2 Standardabweichungen

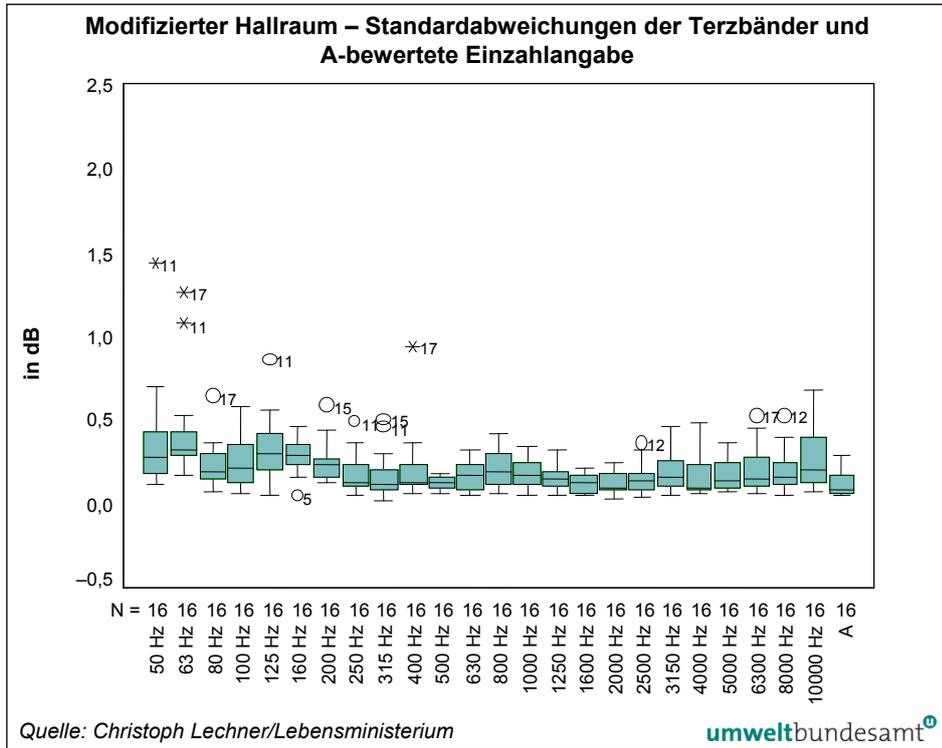


Abbildung 17: Modifizierter Hallraum, Boxplots: Standardabweichungen der Terzbänder und A-bewertete Einzahlangabe (in dB).

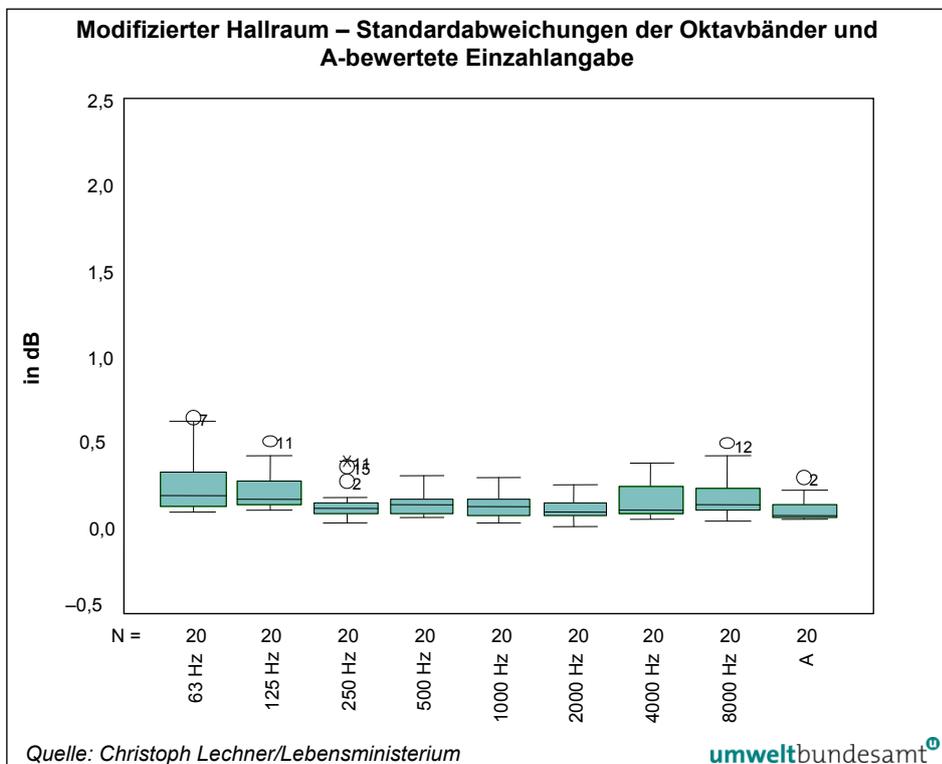


Abbildung 18: Modifizierter Hallraum, Boxplots: Standardabweichungen der Oktavbänder und A-bewertete Einzahlangabe (in dB).

## 9 VERTRAUENSBEREICHE FÜR DIE EINZAHLANGABEN

Wie in Kapitel 6.1 angeführt gilt:

Wird von einem **einzelnen** Laboratorium nur eine einzige Ermittlung  $\gamma$  der zu messenden Größe durchgeführt, ist der **Vertrauensbereich** für den wahren Wert  $\mu$  (z. B. eine Anforderung oder ein in einem Vertrag festgelegter Wert).

$$\left( \gamma - \frac{R}{\sqrt{2}} \right) < \mu < \left( \gamma + \frac{R}{\sqrt{2}} \right)$$

In diesem Sinn wird für die Messung der Schallemission im reflexionsarmen Raum und modifizierten Hallraum der jeweilige Vertrauensbereich, welcher sich aus dem Ringversuch ergeben hat, wiedergegeben.

Für die A-bewertete Einzahlangabe – den Schalleistungspegel  $L_{W,A}$  – ergeben sich aus der Auswertung des Ringversuches folgende in Tabelle 17 dargestellten Werte für den Vertrauensbereich:

*Tabelle 17: Vertrauensbereiche für die A-bewertete Einzahlangabe beider Aufgaben (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).*

Aufgabe	Norm	R/1.41
Freifeld/reflexionsarmer Raum	ÖNORM EN ISO 3744	2,6
modifizierter Hallraum	ÖNORM EN ISO 3744	2,2
Verfahren frei gewählt	ÖNORM EN ISO 3743-1	
	ÖNORM EN ISO 3743-2	
	ÖNORM EN ISO 9614-2	

Im Detail sind diese Werte auch für die Terz- und Oktavbänder mit den Mittelwerten, Wiederhol- und Vergleichsgrenzen in Tabelle 18 und Tabelle 20 angeführt.

## 10 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

### 10.1 Messung im reflexionsarmen Raum

#### 10.1.1 Vorgaben aus ÖNORM EN ISO 3744

Diese internationale Norm beschreibt ein Verfahren zur Messung der Schalldruckpegel auf einer die Geräuschquelle einhüllenden Messfläche unter im wesentlichen Freifeldbedingungen nahe einer oder mehrerer reflektierender Ebenen und zur Berechnung des von der Geräuschquelle erzeugten Schalleistungspegels. Wie jede Norm stellt auch ÖNORM EN ISO 3744 Anforderungen, welche erfüllt werden müssen, um die korrekte Anwendung der Norm zu gewährleisten und die in der Norm beschriebene Genauigkeit der Ergebnisse zu erhalten.

**Messung im freien Schallfeld**

Das Verfahren nach ÖNORM EN ISO 3744 eignet sich zur Schalleistungsbestimmung von Geräuschquellen über einer reflektierenden Ebene sowohl im Freien als auch in reflexionsarmen Räumen, welche ein im Wesentlichen freies Schallfeld garantieren. Ein Raum gilt als geeignet, wenn die unerwünschten Umgebungseinflüsse – etwa durch Reflexionen –  $\leq 2$  dB sind. Die Feststellung der Eignung ist im normativen Anhang A der vorliegenden Norm beschrieben und erfolgt entweder mit Hilfe einer Vergleichsschallquelle oder durch Bestimmung der Raumabsorption.

**Anforderungen an die Messung**

Der Fremdgeräuschpegel – definiert als Geräuschpegel, welcher verursacht durch Umgebungseinflüsse parallel während der Bemessung der Geräuschquelle auf die Messung einwirkt – darf den Unterschied zum gemessenen Pegel der Geräuschquelle von 6 dB nicht unterschreiten.

Beim Verfahren nach ÖNORM EN ISO 3744 muss die gesamte Messeinrichtung (Schallpegelmessgerät, Kalibrator, Mikrofon, Kabel) die Anforderungen für eine Einrichtung der Klasse 1 erfüllen. Die Übereinstimmung der Messeinrichtung mit diesen Anforderungen muss mindestens alle zwei Jahre mittels einer Eichung bestätigt werden.

ÖNORM EN ISO 3744 lässt grundsätzlich zwei Messflächengeometrien zu – die Halbkugel und den Quader. Die Halbkugel befindet sich zentriert über der Geräuschquelle und endet an der reflektierenden Ebene. Der Radius der Halbkugel wird durch die räumliche Größe der Geräuschquelle bestimmt und sollte 1 m, 2 m, 4 m, 6 m, 8 m, 10 m, 12 m, 14 m oder 16 m betragen. Die Anzahl der Messpunkte auf der Messfläche wird durch die Geräuschquelle, genauer gesagt von der Schallabstrahlung, definiert und zählt zehn Hauptmikrofonpositionen bzw. zehn zusätzliche Mikrofonpositionen. Die quaderförmige Messfläche hüllt die Quelle in einem bestimmten Abstand ein, wobei ÖNORM EN ISO 3744 einen bevorzugten, auf die Messfläche senkrechten Abstand von 1 m beschreibt. Alternative Messabstände sind 0,25 m (Mindestabstand), 0,5 m, 2 m, 4 m oder 8 m. Die Hauptmikrofonpositionen auf der Messfläche ergeben sich in Abhängigkeit von der räumlichen Größe der Geräuschquelle. Zusätzliche Mikrofonpositionen sind äquivalent der halbkugelförmigen Messfläche für eine gerichtete Schallabstrahlung vorgesehen.

**Messflächengeometrien Halbkugel und Quader**

### 10.1.2 Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse

Auf Basis der Werte, welche nach der Ausreißerbehandlung verblieben, wurden für die Aufgaben im reflexionsarmen Raum die Mittelwerte, Wiederholgrenzen und Vergleichsgrenzen bestimmt. Diese sind in folgender Tabelle 18 für die Schalleistungspegel in Terzbändern, Oktavbändern sowie für die A-bewertete Einzahlangabe wiedergegeben.

*Tabelle 18: Frequenz  $f$  (in Hz), Mittelwerte  $m$ , Wiederholgrenzen  $r$ , Vergleichsgrenzen  $R$  und Vertrauensbereiche im reflexionsarmen Raum (in dB)  
(Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).*

<b>L</b>	<b>f</b>	<b>m</b>	<b>r</b>	<b>R</b>	<b>R/1.41</b>
L <sub>W, Terz</sub>	50	63,7	1,5	3,1	2,2
	63	61,9	1,7	3,9	2,8
	80	65,2	1,7	3,6	2,5
	100	60,5	1,3	2,9	2,1
	125	61,0	1,1	3,1	2,2
	160	63,5	1,0	3,1	2,2
	200	68,2	1,2	2,8	1,9
	250	75,8	1,1	3,4	2,4
	315	78,6	1,1	2,9	2,1
	400	88,2	1,2	2,5	1,7
	500	91,2	1,3	3,0	2,1
	630	89,3	1,3	3,0	2,1
	800	90,3	1,1	2,6	1,8
	1.000	90,6	1,2	3,1	2,2
	1.250	96,2	1,4	3,8	2,7
	1.600	97,1	0,9	3,6	2,5
	2.000	99,0	0,7	6,1	4,3
2.500	99,2	0,8	4,9	3,5	
3.150	101,1	1,0	4,3	3,1	
4.000	99,0	1,3	4,2	2,9	
5.000	98,5	1,0	3,6	2,6	
6.300	94,3	1,6	3,3	2,3	
8.000	91,4	1,3	3,6	2,5	
10.000	88,0	1,4	4,0	2,9	
L <sub>W, Okt</sub>	63	68,1	1,6	6,3	4,5
	125	66,3	1,1	5,5	3,9
	250	80,2	1,0	5,1	3,6
	500	94,1	1,0	4,3	3,1
	1.000	97,5	1,0	6,3	4,4
	2.000	103,0	0,6	6,4	4,5
	4.000	104,1	1,2	6,2	4,4
8.000	96,3	1,1	5,1	3,6	
L <sub>W, A</sub>	A	108,9	0,5	3,7	2,6

### 10.1.3 Angewandte Hüllfläche

Untersucht wurde auch die Frage einer tendenziellen oder systematischen Abweichung der Unterschiede in der Anwendung des Messverfahrens. Hier ist in erster Linie die Wahl der Hüllfläche, zusätzlich auch die Wahl des Messabstandes ausschlaggebend. Aus diesem Grund wurden die Messwerte für den Mittelwert der A-bewerteten Schalleistungspegel in steigender Reihenfolge in Tabelle 19 sortiert und Hüllfläche und Messabstand angegeben.

*Tabelle 19: Mittelwerte der A-bewerteten Schalleistungspegel  $L_{w,A}$  in dB in aufsteigender Reihenfolge mit Angabe der gewählten Hüllfläche und des Messabstandes  $d$  (in m) im reflexionsarmen Raum (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).*

Prüfstelle	$d$	Hüllfläche	$L_{w,A}$
13	1,00	Halbkugel	106,2
20	2,00	Halbkugel	107,0
22	2,00	Halbkugel	107,2
15	1,00	Quader	107,3
3	2,00	Halbkugel	107,4
17	2,00	Halbkugel	107,4
11	2,00	Halbkugel	107,6
6	1,00	Quader	108,7
19	2,00	Halbkugel	108,8
7	1,00	Quader	109,0
18	-	Quader	109,2
9	1,00	Quader	109,4
10	1,00	Quader	109,5
21	1,00	Quader	109,8
4	1,00	Quader	109,9
2	0,50	Quader	109,9
5	1,00	Quader	110,0
14	0,50	Quader	110,0
12	0,50	Quader	110,1
1	1,00	Quader	110,1
8	1,00	Quader	110,5
16	1,00	Quader	110,6

Aus der Tabelle ist klar ersichtlich, dass bei der Wahl der Hüllfläche „Quader“ systematisch höhere A-bewertete Schalleistungspegel ermittelt wurden. Eine energetische Mittelung der Mittelwerte der einzelnen Prüfergebnisse, getrennt nach Quader und Halbkugel, ergibt eine Differenz von 2,5 dB. Für einen idealisierten schallabstrahlenden Quader in der Größe der verwendeten Schallquelle wurde rechnerisch der theoretische Unterschied zwischen den Hüllflächen ermittelt. Die Abweichung für den Quader beträgt hier nur 0,7 dB. Die Verfahren unterscheiden sich damit theoretisch nicht in dem nun im Rahmen des Ringversuchs festgestellten Umfang.

**Hüllfläche „Quader“  
ergibt höhere Pegel**

Es kann vermutet werden, dass der Vertrauensbereich der Messung nach ÖNORM EN ISO 3744 eingeschränkt werden kann, wenn eine Aufteilung der Verfahren nach gewählter Hüllfläche erfolgt. Aus diesem Grund wurden getrennte Auswertungen für die gewählten Hüllflächen „Halbkugel“ und „Quader“ durchgeführt. Insgesamt haben 14 Prüfstellen den Quader gewählt und Terz- und Oktavbandangaben geliefert, 7 Prüfstellen verwendeten die Für die letztere Auswertung ist die Bedingung  $p(n-1) \geq 35$  zwar nicht erfüllt, mit  $7(5-1) = 28$  aber nicht weit entfernt. Auch ist die empfohlene Mindestanzahl der teilnehmenden Laboratorien um ein Labor unterschritten. Eine gewisse statistische Aussagekraft haben beide getrennten Analysen aber trotzdem. Diese sind gemeinsam mit der Gesamtauswertung, ausgedrückt als Vergleichs-Standardabweichung, in den Terzbändern gegen die geschätzten Angaben des Verfahrens aus ÖNORM EN ISO 3744 in der folgenden Abbildung 19 dargestellt.

#### **10.1.4 Gegenüberstellung der Vergleichs-Standardabweichungen mit den geschätzten Werten der herangezogenen Norm**

Wie in ÖNORM EN 20140-2 ausgeführt, ist die Vergleichs-Standardabweichung die Quadratwurzel aus der Vergleichsgrenze. Da in den herangezogenen Normen nicht die Vergleichsgrenze oder der Vertrauensbereich für eine statistische Wahrscheinlichkeit von 95 % angegeben sind, wird der Vergleich direkt mit den Schätzwerten für die Vergleichs-Standardabweichung durchgeführt. In Abbildung 19 sind Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen für die Hüllflächen „Quader“ und „Halbkugel“ sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zu den geschätzten Angaben laut ÖNORM EN ISO 3744 für Terzbänder dargestellt.

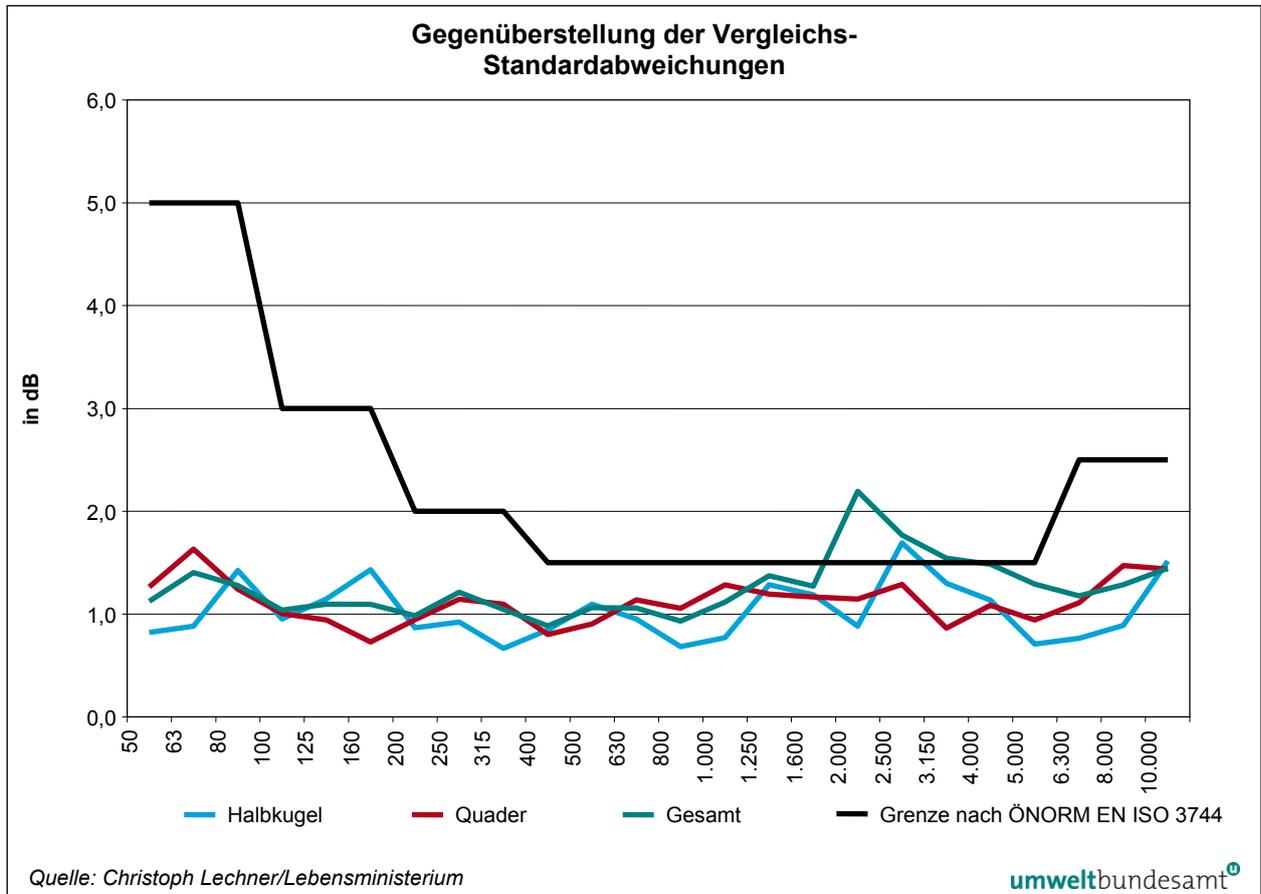


Abbildung 19: Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen für die Hüllflächen „Quader“ und „Halbkugel“ sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Terzbänder (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

Die Vergleichs-Standardabweichungen in den Oktavbändern und für die A-bewerteten Einzulangaben sind in Abbildung 20 dargestellt.

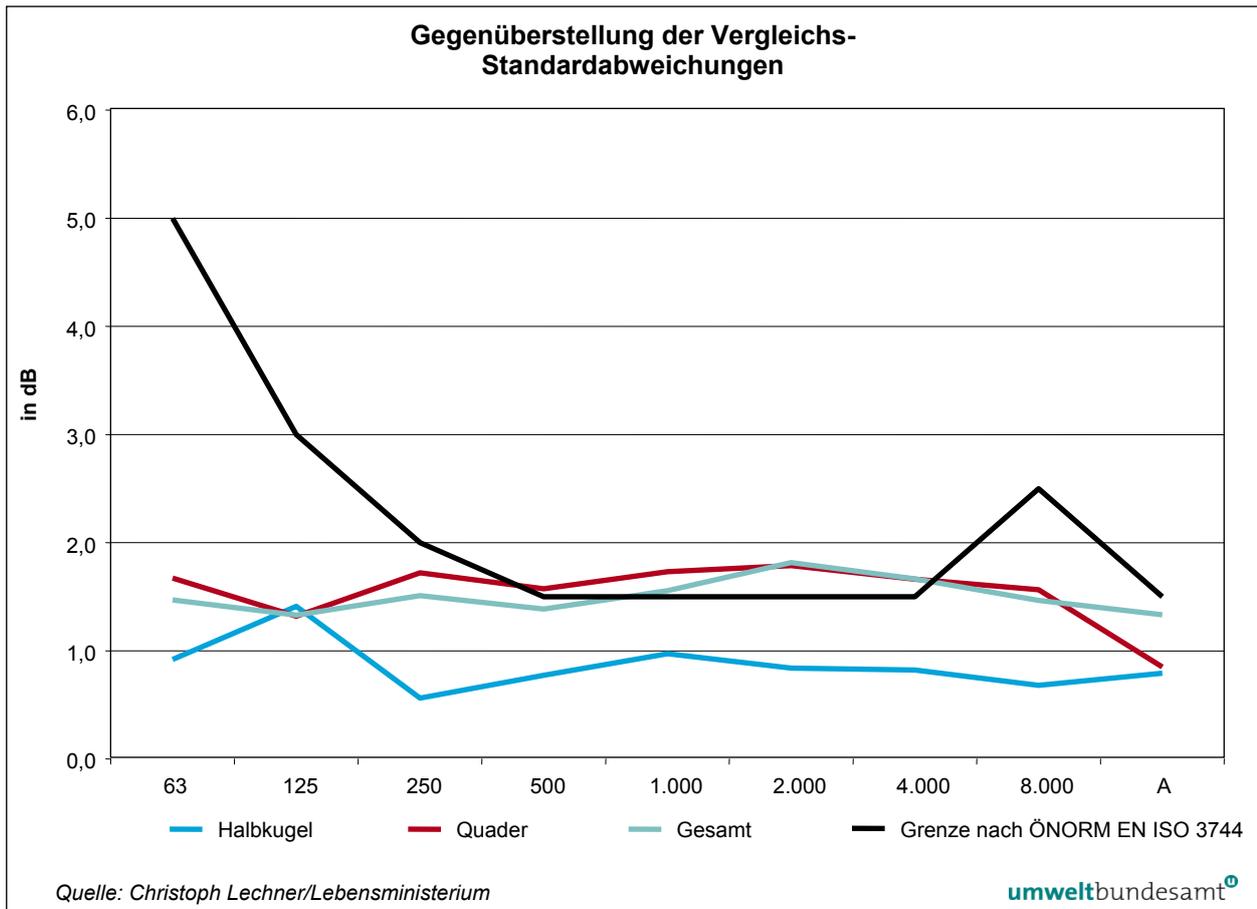


Abbildung 20: Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen für die Hüllflächen „Quader“ und „Halbkugel“ sowie Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Oktavbänder und A-bewerteten Pegel (in dB).

## 10.2 Messung im modifizierten Hallraum

### 10.2.1 Auswahl eines geeigneten Messverfahrens

#### ÖNORM EN ISO 3743-1

##### Anforderungen der Norm

Diese Norm der Genauigkeitsklasse 2 stellt ein so genanntes Vergleichsverfahren unter Zuhilfenahme einer Vergleichsschallquelle dar. Als Prüfraum wird ein Raum mit schallharten, reflektierenden Oberflächen und einem Raumvolumen größer 40 m<sup>3</sup> und größer 40-mal dem Volumen des Bezugsquaders vorausgesetzt. Keine der Raumboflächen darf in einem Frequenzbereich einen Schalabsorptionsgrad von 0,2 überschreiten.

Die Geräuschquelle muss transportabel und das Geräuschquellenvolumen sollte kleiner als 1 % des Raumvolumens sein. Der Charakter des von der Quelle abgestrahlten Geräusches ist beliebig, mit Ausnahme von einzelnen Schallimpulsen.

Das Fremdgeräusch darf den Unterschied zum Geräusch der zu untersuchenden Quelle von 6 dB nicht unterschreiten. Als Messgeräte sind Geräte der Genauigkeitsklasse 1 zu verwenden.

Vermutlich in Ermangelung der für dieses Verfahren notwendigen Vergleichschallquelle wurde diese Norm für die vorliegende Aufgabenstellung lediglich von einem Teilnehmer (Prüfstelle 5) herangezogen.

### **ÖNORM EN ISO 3743-2**

Die ÖNORM EN ISO 3743-2 beschreibt ein Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 unter Anwendung eines Sonder-Hallraumes. Dieser Sonder-Hallraum zeichnet sich einerseits durch sein Volumen zwischen 70 m<sup>3</sup> und 300 m<sup>3</sup> und andererseits durch einen definierten, zulässigen Nachhallzeitbereich aus.

Die Größe der Geräuschquelle sollte so sein, dass ihr Volumen nicht größer als 1 % des Hallraumvolumens ist, außerdem muss sie transportabel sein. Der Charakter des von der Quelle abgestrahlten Geräusches ist beliebig, mit Ausnahme von einzelnen Schallimpulsen.

Das Fremdgeräusch darf den Unterschied zum Geräusch der zu untersuchenden Quelle von 4 dB nicht unterschreiten. Als Messgeräte sind Geräte der Genauigkeitsklasse 1 zu verwenden.

Die Kriterien hinsichtlich des Hallraumvolumens, des Geräuschquellenvolumens, der Geräuschcharakteristik und der Messgeräte werden aufgrund der Angaben zur Aufgabenstellung und der zur Verfügung stehenden Messapparatur erfüllt. Eine Eignung des Hallraumes in Hinblick auf die erforderliche Nachhallzeit stellt gemäß der Aufgabenstellung keine Relevanz dar, woraus der Schluss hervorgeht, dass sich diese Norm zur Erfüllung der Aufgabenstellung eignet.

Dieses Verfahren wurde von 11 Prüfstellen verwendet.

### **ÖNORM EN ISO 3744**

Im Gegensatz zu den beiden vorgenannten Normen erfordert ÖNORM EN ISO 3744 als Prüfumgebung ein im Wesentlichen freies Schallfeld in der Nähe einer oder mehrerer reflektierender Ebenen. Diese Bedingungen können sowohl im Freien als auch in reflexionsarmen Räumen gegeben sein. Eine weitere Vorgabe zur Prüfumgebung ist, dass die unerwünschten Umgebungseinflüsse, verursacht etwa durch Reflexionen, < 2 dB sind.

ÖNORM EN ISO 3744 ist ein Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 und stellt keinerlei Anforderungen an die Geräuschquelle oder die Geräuschcharakteristik.

Das Fremdgeräusch darf den Unterschied zum Geräusch der zu untersuchenden Quelle von 6 dB nicht unterschreiten. Als Messgeräte sind Geräte der Genauigkeitsklasse 1 zu verwenden.

Diese Norm eignet sich nicht für die Aufgabenstellung, da als Prüfumgebung ein im Wesentlichen freies Schallfeld, im Gegensatz zum zur Verfügung stehenden Hallraum erforderlich ist. Die Umgebungskorrektur kann den Grenzwert nicht einhalten.

Dieses Verfahren wurde von 9 Prüfstellen verwendet.

### **Anforderungen der Norm**

### **Anforderungen der Norm**

### **ÖNORM EN ISO 3747**

**Anforderungen der Norm**

ÖNORM EN ISO 3747 ist ein Verfahren zur Schalleistungsbestimmung der Genauigkeitsklasse 2 oder 3 und darf in Räumen angewandt werden, in denen das Fremdgeräusch hinreichend niedrig und das Schallfeld ausreichend hallig ist.

Für die Art und Größe der Geräuschquelle gelten keine Beschränkungen, der zulässige Charakter des von der Quelle abgestrahlten Geräusches umfasst hauptsächlich breitbandiges, aber auch schmalbandiges und tonales Geräusch. Die Feststellung der Genauigkeitsklasse (ob 2 oder 3) basiert auf einer Vergleichsmessung mit einer Vergleichsschallquelle und der zu untersuchenden Geräuschquelle.

Das Fremdgeräusch darf den Unterschied zum Geräusch der zu untersuchenden Quelle von 6 dB nicht unterschreiten. Als Messgeräte sind Geräte der Genauigkeitsklasse 1 zu verwenden.

Dieses Verfahren wurde von keiner Prüfstelle gewählt.

### **ÖNORM EN ISO 9614-1**

**Anforderungen der Norm**

Im Gegensatz zu den voran beschriebenen Normen – welche allesamt Verfahren, beruhend auf Messungen des Schalldruckpegels darstellen – handelt es sich bei ÖNORM EN ISO 9614-1 um ein Verfahren zur Bestimmung der Schallleistungspegel aus der Messung des Schallintensitätspegels.

In Abhängigkeit von den Vergleichs-Standardabweichungen ergibt sich für ÖNORM EN ISO 9614-1 eine Genauigkeitsklasse von 1, 2 oder 3. Die Prüfumgebung, ob im Freien oder in Räumen, ist dabei beliebig, festgelegte Anforderungen an diese müssen jedoch eingehalten werden.

Hinsichtlich des Volumens der Geräuschquelle werden keine Anforderungen gestellt, die Geräuschcharakteristik kann breitbandig, schmalbandig oder auch tonal sein, sofern sie während der Dauer der Messung stationär ist.

Das Fremdgeräusch sollte den Unterschied zum Geräusch der zu untersuchenden Quelle von typischerweise – 10 dB nicht unterschreiten. Als Messgeräte sind in Abhängigkeit von der Genauigkeitsklasse des Verfahrens Geräte der Klasse 1 für Genauigkeitsklasse 1 und 2 bzw. Geräte der Klasse 2 für Genauigkeitsklasse 3 zu verwenden.

Keine der Prüfstellen hat dieses Verfahren angewandt.

### **ÖNORM EN ISO 9614-2**

**Anforderungen der Norm**

Auch das Verfahren nach ÖNORM EN ISO 9614-2 stellt ein Schallintensitätsverfahren dar, jedoch nach den Genauigkeitsklassen 2 und 3. Hinsichtlich der Kriterien an die Prüfumgebung, die Geräuschquelle, das Fremdgeräusch und die Messgeräte wird auf ÖNORM EN ISO 9614-1 verwiesen.

Prüfstelle 8 hat für die Ermittlung der Schalleistung dieses Verfahren gewählt.

## 10.2.2 Freifeldmessung und Sonderhallraum

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, wendeten neun Prüfstellen das Verfahren der ÖNORM EN ISO 3744 für Freifeldmessungen, elf das Verfahren nach ÖNORM EN ISO 3743-2 für Sonderhallräume an. Aufgrund der gegebenen statistischen Genauigkeit wurde auch hier analog zu Kapitel 10.1.3 eine getrennte Auswertung dieser Verfahren zusätzlich zur Gesamtauswertung durchgeführt.

## 10.2.3 Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse

Ebenfalls unter Ausschluss der echten Ausreißer wurden für die Aufgaben im modifizierten Hallraum die Mittelwerte, Wiederholgrenzen und Vergleichsgrenzen bestimmt. Diese sind in folgender Tabelle 20 für die Schalleistungspegel in Terzbändern, Oktavbändern sowie für die A-bewertete Einzulangabe wiedergegeben.

Tabelle 20: Frequenz  $f$  (in Hz), Mittelwerte  $m$ , Wiederholgrenzen  $r$ , Vergleichsgrenzen  $R$  und Vertrauensbereiche im modifizierten Hallraum (in dB) (Quelle: Christoph Lechner/Lebensministerium).

	$f$	$m$	$r$	$R$	$R/1.41$
$L_{W, \text{Terz}}$	50	69,3	1,4	8,8	6,2
	63	85,6	1,4	7,7	5,4
	80	92,0	0,7	7,6	5,4
	100	89,3	0,8	5,8	4,1
	125	89,3	1,1	5,4	3,8
	160	92,4	0,8	5,4	3,8
	200	90,1	0,8	4,2	3,0
	250	94,9	0,6	4,1	2,9
	315	96,3	0,6	4,0	2,8
	400	91,7	0,8	3,9	2,8
	500	96,5	0,4	3,2	2,3
	630	101,7	0,5	3,0	2,1
	800	103,9	0,7	3,9	2,8
	1.000	105,0	0,6	3,3	2,4
	1.250	102,0	0,5	2,9	2,1
	1.600	103,5	0,4	2,8	2,0
	2.000	104,0	0,4	2,8	2,0
	2.500	102,6	0,5	2,8	1,9
	3.150	99,2	0,6	3,7	2,6
4.000	100,7	0,6	3,8	2,7	
5.000	97,9	0,5	4,0	2,8	
6.300	94,0	0,7	4,7	3,4	
8.000	91,9	0,7	5,0	3,5	
10.000	88,7	1,0	6,1	4,3	
$L_{W, \text{Okt}}$	63	92,6	0,9	11,8	8,4
	125	95,6	0,7	8,8	6,2
	250	99,5	0,4	7,0	5,0
	500	102,9	0,4	6,5	4,6
	1.000	108,6	0,3	5,1	3,6
	2.000	108,1	0,3	5,1	3,6
	4.000	104,2	0,5	5,1	3,6
8.000	96,6	0,6	7,1	5,0	
$L_{W, A}$	A	113,3	0,3	3,1	2,2

### 10.2.4 Gegenüberstellung der Vergleichs-Standardabweichungen mit den geschätzten Werten der Normen

In Abbildung 21 sind Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen von Messungen nach ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Terzbänder aufgetragen, in Abbildung 22 erfolgt dies für die Oktavbänder und die A-bewertete Einzahlangabe.

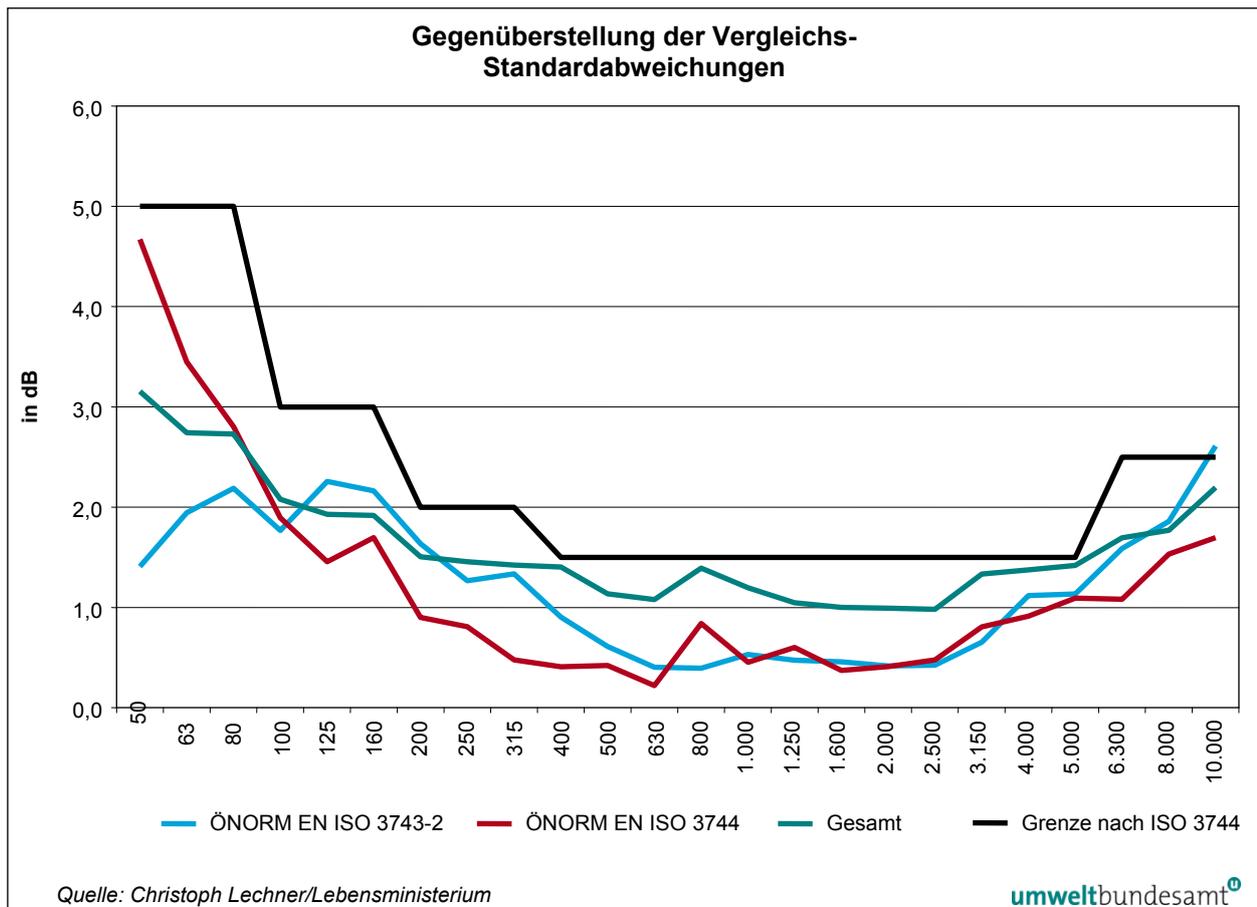


Abbildung 21: Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen von Messungen nach ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 für Terzbänder (in dB).

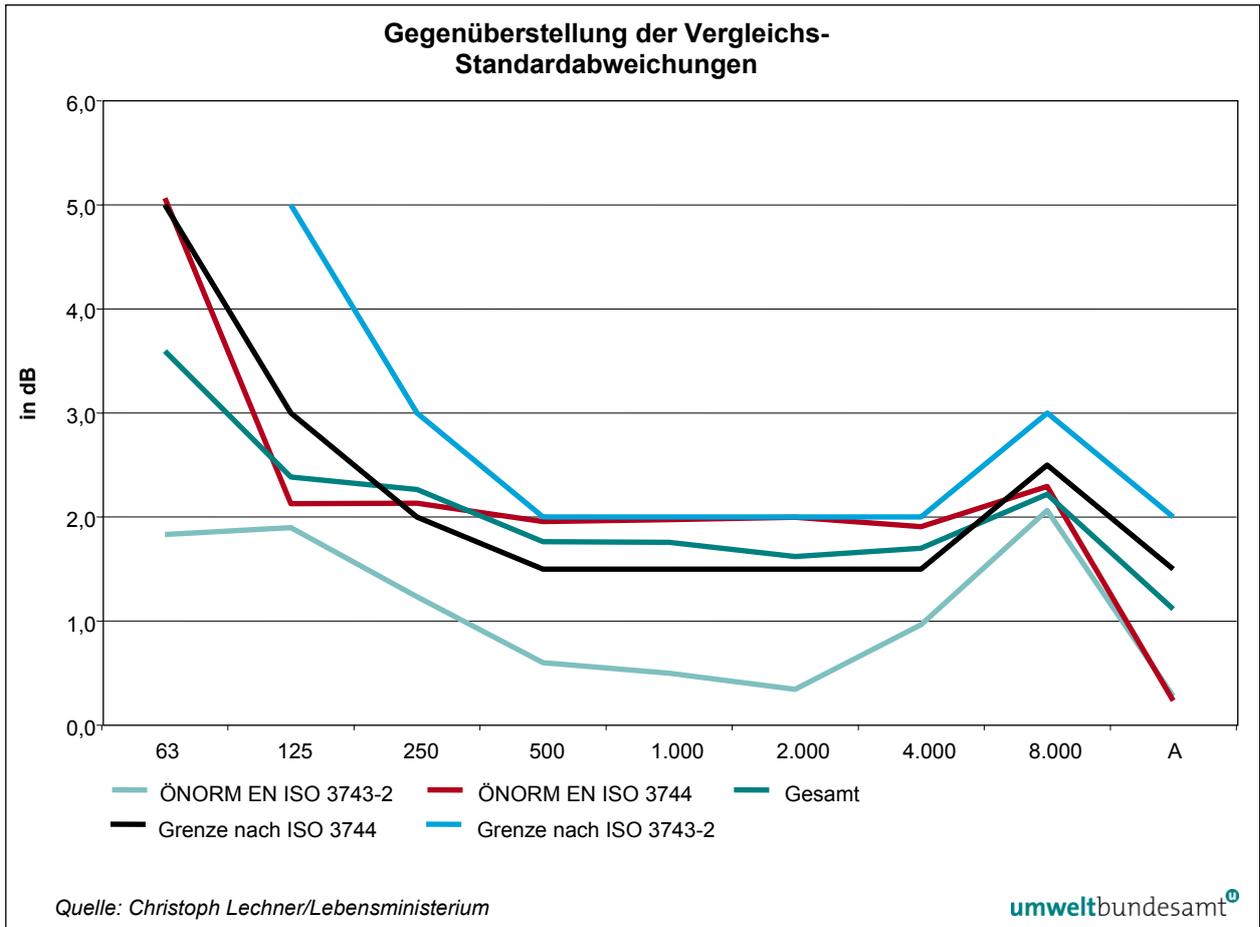


Abbildung 22: Vergleichs-Standardabweichungen der getrennten Auswertungen von Messungen nach ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 sowie die Gesamtauswertung im Vergleich zur geschätzten Angabe laut ÖNORM EN ISO 3744 und ÖNORM EN ISO 3743-2 für Oktavbänder und die A-bewertete Einzahlangabe (in dB).

## 11 FOLGERUNGEN

**Schätzwerte nach  
ÖNORM EN ISO  
3744 werden  
eingehalten**

Als wohl wesentlichstes Ergebnis des Ringversuches bei Messung im reflexionsarmen Raum steht sicher die weitgehende Einhaltung der Schätzwerte für die Vergleichs-Standardabweichungen nach ÖNORM EN ISO 3744. Interessant ist das Ergebnis, dass im Frequenzbereich unter 200 Hz, in dem die Schätzwerte der Terzbänder stark steigen, die tatsächliche Genauigkeit beim Ringversuch nicht schlechter wurde. Dies ist umso bedeutender, als im reflexionsarmen Raum im untersten Frequenzbereich unter 100 Hz auch keine idealen Bedingungen (völlige Reflexionsfreiheit) vorherrschen. Die Schätzwerte für die Vergleichs-Standardabweichungen der Norm liegen hier auf der sicheren Seite.

Auch bei Trennung der Verfahren nach Hüllflächen liegen die ermittelten Unsicherheiten in den Terzbändern nicht entscheidend unter jenen der Gesamtauswertung. Die einzige bedeutende Überschreitung der Schätzwerte im 2 kHz Terzband ließe sich allerdings getrennt auswerten. In der A-bewerteten Einzahlangabe könnte die Unsicherheit durch Trennung der Hüllflächen unter den Wert von 1 dB gebracht werden. Dies ist eine entscheidende Feststellung im Zusammenhang mit dem Nachweis der Einhaltung der Schallemission von Maschinen. Bei Verwendung derselben Hüllfläche liegt de facto eine Unsicherheit für die A-bewertete Einzahlangabe der Genauigkeitsklasse 1 vor. Dies sollte in Nachweisführungen, welche im Grenzbereich liegen, in Zukunft Bedacht werden.

**geringere  
Standardabweichungen im modifizierten  
Hallraum**

Anders als erwartet liegen die Vergleichs-Standardabweichungen bei den Messungen im modifizierten Hallraum unter den Schätzwerten von ÖNORM EN ISO 3743-2. Obwohl die Umgebungskorrektur im modifizierten Hallraum durchwegs das nach dem Verfahren von ÖNORM EN ISO 3744 zulässige Ausmaß von 2 dB bei Weitem überschritten hat, ist es in diesen Räumen doch gelungen, die geschätzte Genauigkeit nach dieser Norm annähernd zu erreichen. Bei getrennter Auswertung zeigt sich deutlich der Vorteil des Verfahrens nach ÖNORM EN ISO 3743-2. Die getrennte Auswertung nach diesem Sonderhallraumverfahren erreicht auch eindeutig die geschätzten Werte für die Vergleichs-Standardabweichung des Verfahrens im Freifeld. Hier kann in Zukunft auf diese Genauigkeitsangaben zurückgegriffen werden. Auch scheint für die Oktavbänder und die A-bewertete Einzahlangabe die Angabe der Schätzwerte nach ÖNORM EN ISO 3743-2 zu hoch gegriffen zu sein, die Schätzwerte nach ÖNORM EN ISO 3744 können hier als Anhaltswerte begründet herangezogen werden. Dies bedeutet, je nach Oktavband, Verbesserungen der tatsächlichen Genauigkeit von 0,5 bis 2 dB, für die A-bewertete Einzahlangabe von 0,5 dB; letztere ist mit hoher Wahrscheinlichkeit sogar um 1 dB besser. Es wird empfohlen, eine Anpassung dieser Schätzwerte ins Auge zu fassen.

## 12 LITERATURVERZEICHNIS

- UMWELTBUNDESAMT (1998): Lang, J.: Ergebnisse des Ringversuches für die Messung der Schallemission. Berichte, Bd. BE-0117. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2002): Lechner, C.: Ringversuch für bauakustische Messungen. Berichte, Bd. BE-0207. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2005): Lechner, C.: Ringversuch Messung der Schallimmission 2005. Berichte, Bd. BE-0276. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2006): Lechner, C.: Vergleich von Messmethoden an Hand von Straßenverkehr. Reports, Bd. REP-060. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Lechner, C.: Messung der Schallimmission haustechnischer Geräusche und der Schalldämmung von Außenbauteilen, Reports, Bd. REP-0120. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Lechner, C.: Ringversuch Vergleichsberechnung für Umgebungslärm. Reports, Bd. REP-230. Umweltbundesamt, Wien.
- WITTSTOCK, V. (2010): Uncertainty determination of sound emission measures by round robins, Beitrag 640 bei der InterNoise 2010 in Lissabon. (Tagungs-CD)

### Normen

- ÖNORM EN 20140-2: Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Teil 2: Angabe von Genauigkeitsanforderungen. Ausgabe 1. August 1993.
- ÖNORM EN ISO 3740: 2001 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen.
- ÖNORM EN ISO 3743-1: 2009 Akustik – Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern – Teil 1: Vergleichsverfahren in einem Prüfraum mit schallharten Wänden.
- ÖNORM EN ISO 3743-2: 2009 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern – Teil 2: Verfahren für Sonder-Hallräume.
- ÖNORM EN ISO 3744: 2009 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene.
- ÖNORM EN ISO 3747: 2011 Akustik – Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 und 3 zur Anwendung in einer halligen Umgebung.
- ÖNORM EN ISO 6926: 2001 Akustik – Anforderungen an die Eigenschaften und die Kalibrierung von Vergleichsschallquellen für die Bestimmung von Schalleistungspegeln.
- ÖNORM EN ISO 9614-1: 2010 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messungen an diskreten Punkten.

- ÖNORM EN ISO 9614-2: 1997 Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 2: Messung mit kontinuierlicher Abtastung.
- DIN ISO 5725-1 Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe (ISO 5725-1:1994), Ausgabe 1997 inklusive Berichtigung 1998.
- DIN ISO 5725-2 Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 2: Grundlegende Methode für Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichpräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens (ISO 5725-2:1994 einschließlich Technisches Korrigendum 1:2002).

## 13 SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN

### 13.1 Begriffsbestimmungen

Die exakten Begriffsbestimmungen und Definitionen sind den im Literaturverzeichnis angeführten Bezugsnormen zu entnehmen. Im Folgenden werden die wesentlichsten Begriffe wiedergegeben:

**Schalldruck  $p$ :** Der durch Schall hervorgerufene Wechseldruck, welcher dem statischen Luftdruck überlagert ist. Er wird in Pascal angegeben.

*Anmerkung:* Die Größe des Schalldruckes kann auf mehrere Arten angegeben werden, etwa als momentaner Schalldruck, maximaler Schalldruck oder als der über die Zeit und den Raum (d. h. über die Messfläche) gebildete Effektivwert des Schalldruckes.

**Schalldruckpegel  $L_p$ :** zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der Quadrate des Effektivwertes des Schalldrucks  $p$  und des Bezugsschalldrucks  $p_0$ .

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad \text{in Dezibel (dB) mit } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

Vielfach wird statt Schalldruckpegel die vereinfachte Bezeichnung Schallpegel verwendet.

**A-bewerteter Schalldruckpegel  $L_{p,A}$ :** der mit A-Bewertung ermittelte Schalldruckpegel. Die A-Bewertung ist in der Verordnung des Bundesministers für Eich- und Vermessungswesen vom 29. Juni 1979 festgelegt und stellt eine gewisse Annäherung an die Lautheitsempfindung des Menschen dar. Der A-bewertete Schalldruckpegel wird in der Regel für die Beschreibung der Schallimmissionen verwendet.

**Energieäquivalenter Dauerschallpegel  $L_{eq}$ :** Einzahlangabe, die zur Beschreibung von Schallereignissen mit schwankendem Schalldruckpegel dient. Der energieäquivalente Dauerschallpegel wird als jener Schalldruckpegel errechnet, der bei dauernder Einwirkung dem unterbrochenen Geräusch oder Geräusch mit schwankendem Schalldruckpegel energieäquivalent ist.

Der **A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{A,eq}$**  ist der mit der A-Bewertung ermittelte energieäquivalente Dauerschallpegel.

**Nachhallzeit ( $T$ ):** Die Nachhallzeit ist die Zeit in s, in der nach Abschalten der Schallquelle der Schallpegel im Raum um 60 dB abnimmt.

**Schallabsorptionsgrad:** Das Maß für die Schallabsorptionsfähigkeit eines Materials oder einer Oberfläche in einem gegebenen Frequenzband. Idealerweise ist der Schallabsorptionsgrad der Bruchteil der beliebig einfallenden Schalleistung, der absorbiert bzw. nicht reflektiert wird.

**Terzbandpegel:** unbewertet in den einzelnen Terzbändern gemessener Schalldruckpegel.

**Schalleistung  $W$ :** Die von einer Quelle als Luftschall abgestrahlte Schallenergie dividiert durch die Zeit. Sie wird in Watt angegeben.

**Schalleistungspegel  $L_W$ :** Der zehnfache dekadische Logarithmus des Verhältnisses der von der zu untersuchenden Quelle abgestrahlten Schalleistung zur Bezugsschalleistung. Er wird in Dezibel angegeben.

Die Frequenzbewertung oder die Breite des verwendeten Frequenzbandes ist anzugeben. Die Bezugsschalleistung ist  $1 \text{ pW}$  ( $10^{-12} \text{ W}$ ).

*Anmerkung:* Beispielsweise wird der A-bewertete Schalleistungspegel mit  $L_{WA}$  bezeichnet.

**Freifeld:** Ein Schallfeld in einem homogenen, isotropen Medium ohne Begrenzungen. In der Praxis ist dies ein Feld, in welchem die Auswirkungen der Begrenzungsflächen im interessierenden Frequenzbereich zu vernachlässigen sind.

**Freifeld über einer reflektierenden Ebene:** Ein Schallfeld in einem homogenen, isotropen Medium im Halbraum über einer unendlichen, starren Ebene, auf der sich die Schallquelle befindet.

**Interessierender Frequenzbereich:** Im Allgemeinen umfasst der interessierende Frequenzbereich die Oktavbänder mit den Mittenfrequenzen von 125 Hz bis 8.000 Hz.

*Anmerkung:* Für besondere Anwendungen darf der interessierende Frequenzbereich an beiden Seiten erweitert oder eingeschränkt werden, vorausgesetzt, die Messumgebung und die Messgenauigkeit der Messgeräte sind für die Anwendung in dem erweiterten oder reduzierten Frequenzbereich geeignet. Bei Quellen, die vorwiegend hoch- oder tieffrequenten Schall abstrahlen, darf der interessierende Frequenzbereich erweitert oder reduziert werden, um die Messeinrichtungen und Verfahren zu optimieren.

**Bezugsquader:** Eine gedachte Bezugsfläche in der Form des kleinsten Quaders, der die Schallquelle gerade einschließt und auf der oder den reflektierenden Ebene(n) endet.

**Charakteristische Quellenabmessung  $d_0$ :** Die halbe Länge der Diagonalen des Quaders, welcher aus dem Bezugsquader und dessen Spiegelbildern an den angrenzenden reflektierenden Ebenen besteht.

**Messabstand  $d$ :** Der Abstand einer quaderförmigen Messfläche vom Bezugsquader.

**Fremdgeräusch:** Das Geräusch sämtlicher Quellen mit Ausnahme der zu untersuchenden Quelle.

*Anmerkung:* Fremdgeräusch kann Luftschall, Körperschall und elektrisches Rauschen der Messeinrichtung beinhalten.

**Fremdgeräuschkorrektur  $K_1$ :** Ein Korrekturterm, welcher den Einfluss des Fremdgeräusches auf den Messflächenschalldruckpegel berücksichtigt;  $K_1$  ist frequenzabhängig und wird in Dezibel angegeben. Bei A-Bewertung ist die Bezeichnung  $K_{1A}$ .

**Umgebungskorrektur  $K_2$ :** Ein Korrekturterm, welcher den Einfluss des reflektierten oder absorbierten Schalles auf den Messflächenschalldruckpegel berücksichtigt;  $K_2$  ist frequenzabhängig und wird in Dezibel angegeben. Bei A-Bewertung ist die Bezeichnung  $K_{2A}$ .

**Hallfeld:** Der Bereich des Schallfeldes in einem Prüfraum, in dem der Direkt-schall von der Quelle im Vergleich zu dem von den Raumbegrenzungsflächen und Gegenständen im Raum reflektierten Schall vernachlässigbar ist.

**Prüfraum mit schallharten Wänden:** Ein Raum, dessen sämtliche Begrenzungsflächen (einschließlich Boden und Decke) im interessierenden Frequenzbereich einen hohen Reflexionsgrad aufweisen.

**Vergleichsschallquelle:** Eine stabile Schallquelle, welche ein kontinuierliches Breitbandgeräusch mit ausreichender Schalleistung in einem weiten Frequenzbereich abstrahlt, kalibriert nach ÖNORM ISO 6926. Die Schalleistungspegel der Vergleichsschallquelle sind im interessierenden Frequenzbereich bekannt.

**Vergleichsverfahren:** Ermittlungsverfahren für den Schalleistungspegel durch Vergleich des (energetisch) gemittelten Schalldruckpegels der zu untersuchenden Quelle im Prüfraum mit dem gemittelten Schalldruckpegel der Vergleichsschallquelle mit bekannter Schalleistung im gleichen Raum. Die Differenz der Schalldruckpegel ist gleich der Differenz der Schalleistungspegel, sofern die Messbedingungen für beide Messungen dieselben sind.

**Direktverfahren:** Verfahren zur Bestimmung des Schalleistungspegels aus den (energetisch) gemittelten Werten des Schalldrucks, die durch die Quelle im Prüfraum erzeugt werden, der Nachhallzeit und dem Volumen des Prüfraumes.

**Sonder-Hallraum:** Ein Prüfraum, der die Anforderungen von ÖNORM EN ISO 3743-2 erfüllt.



Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Im Ringversuch des Forum Schall im Jahr 2010 stand die Bestimmung von Wiederhol- und Vergleichsgrenzen bei der Messung der Schallemission im Mittelpunkt. Durchgeführt wurde der Ringversuch in den Prüfräumen der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt in Wien. Zentrale Aufgabenstellung war die Bestimmung der Schalleistung durch Messung im reflexionsarmen Raum (Schallabstrahlung im Freien) und im modifizierten Hallraum. Damit wurden die beiden am häufigsten in der Praxis vorkommenden Fälle für Prüfungen der Schalleistungen in situ abgebildet. Es zeigte sich, dass das Verfahren im modifizierten Hallraum eine deutlich höhere Genauigkeit ergibt als in ÖNORM EN ISO 3743-2 angegeben. Messungen im Freifeld erzielen auch im Ringversuch die nach ÖNORM EN ISO 3744 erwarteten Genauigkeiten. Diese Erkenntnisse können in die nationale und internationale Normung einfließen.