



RINGVERSUCH MESSUNG DER SCHALLIMMISSION 2005

Vergleich von Messmethoden am Beispiel
Straßenverkehrslärm

Christoph Lechner



lebensministerium.at



REPORT
REP-0060

Wien, 2006



Autor

Christoph Lechner
forum.schall@aon.at

Übersetzung

Brigitte Read

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Manuela Kaitna

Titelphoto

Ansicht Messplatz (Jugendhaus „Gufi“, Tirol)



Die vorliegende Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Abteilung V/5, Verkehr, Mobilität, Siedlungswesen, Lärm) erstellt.

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.

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

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

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2006
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-858-X



VORWORT

Seit dem Bestehen des Forum Schall, welches 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, die auch einen wesentlichen Beitrag zur Grundlagenforschung darstellt.

Im Rahmen des Ringversuchs „Messung der Schallimmission 2003“ wurden die Vertrauensbereiche bei der Bestimmung des Beurteilungspegels durch Messung ermittelt. Um die Anzahl möglicher Einflüsse auf die Messergebnisse zu reduzieren wurde dabei in Bezug auf die Wahl des Messplatzes auf ungehinderte Schallausbreitung geachtet. Im vorliegenden Ringversuch wurde nun besonderes Augenmerk auf die Immissionssituation im Wohnbereich gelegt und darüber hinaus ein Vergleich von unterschiedlichen Messanordnungen – vor dem Fenster, am Fenster und im Raum – durchgeführt.

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



INHALT

	VORWORT	3
	ZUSAMMENFASSUNG	7
	EXECUTIVE SUMMARY	8
1	EINLEITUNG	9
2	MOTIVATION	10
3	TEILNEHMER	11
4	AUFGABENSTELLUNG	12
4.1	Ringversuchsplanung	12
4.2	Messort	13
4.3	Messaufgaben	13
4.3.1	Messung vor der Fassade	13
4.3.2	Grenzflächenmethode	14
4.3.3	Messung im Raum	14
4.4	Empfangsraum	15
4.5	Datensammlung	16
4.6	Meteorologie	16
4.7	Messdurchführungen durch die Prüfstellen	17
5	STATISTISCHE BERECHNUNGEN	18
5.1	Kennwerte	18
5.2	Begriffserläuterungen	19
5.2.1	Standardabweichung	19
5.2.2	Varianz	19
5.2.3	Median (auch: Zentralwert)	20
5.2.4	Quartil	20
5.2.5	Interquartilabstand	20
5.2.6	Konfidenzintervall und Irrtumswahrscheinlichkeit	21
5.3	Darstellung	21
5.4	Berechnungen zu den einzelnen Aufgaben	21
5.5	Behandlung von Ausreißern	22
6	ERGEBNISSE DER EINZELNEN AUFGABEN	23
6.1	Messung vor der Fassade	23
6.2	Messung an der Grenzfläche	24
6.3	Messung im Raum	25



7	BOXPLOTS	26
7.1	Energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$	27
7.2	Basispegel $L_{A,95}$	28
7.3	Mittlerer Spitzenpegel $L_{A,1}$	29
8	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	30
9	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE	31
10	VERGLEICHSMESSUNG „GEKIPPTES FENSTER“	32
10.1	Aufgabenstellung	32
10.2	Versuchsordnung	32
10.3	Theoretische Überlegungen.....	34
10.4	Messergebnisse	36
10.5	Interpretation der Ergebnisse	38
11	SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN	39
11.1	Literaturhinweise.....	39
11.2	Begriffsbestimmungen	40

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Forum Schall wurde bereits eine Reihe von Ringversuchen zur Schallmessung durchgeführt. In Fortsetzung dieser Grundlagenarbeit werden im vorliegenden Ringversuch unterschiedliche Messmethoden verglichen sowie Messungen zur Pegeldifferenz zwischen der Immission vor der Fassade und im Raum bei gekipptem Fenster durchgeführt.

Die Frage nach der Ergebnisunsicherheit schalltechnischer Messungen ist insbesondere in Zusammenhang mit der Überarbeitung der ÖNORM S 5004 „Messung der Schallimmission“ und der Aufnahme des Messverfahrens Grenzflächenmikrofon (wie in ISO 1996-2 beschrieben) von Interesse. Die Betrachtung des Einflusses eines gekippten Fensters auf die Pegeldifferenz zwischen der Immission vor der Fassade und im Raum erfolgte in Zusammenhang mit der Überarbeitung der ÖAL-Richtlinie 3 „Beurteilung der Schallimmission“.

Für die Ermittlung der Ergebnisunsicherheiten wurde ein Vergleich mehrerer Messmethoden durchgeführt und Straßenverkehrslärm als zu untersuchendes Geräusch ausgewählt. Um gleiche Bedingungen für die Immissionsituation zu erhalten wurde der Straßenverkehrslärm über einen Bauakustiklautsprecher wiedergegeben.

Für den Vertrauensbereich für die Messung 0,5 m vor dem geöffneten Fenster wurde für den $L_{A,eq}$ ein Wert von 0,9 dB ermittelt. Die Vertrauensbereiche dieser Messmethode sind vergleichbar groß wie in vorangegangenen Ringversuchen ermittelte Vertrauensbereiche für die Messung im Freien.

Für die Messung an der Grenzfläche konnte die größte Genauigkeit festgestellt werden, der Vertrauensbereich für den $L_{A,eq}$ beträgt 0,6 dB. Allein aus diesem Grund ist es notwendig, dieses Messverfahren im Rahmen der Überarbeitung der Norm zur Messung der Schallimmission zu berücksichtigen.

Auch die Messung im Raum bei geöffnetem Fenster zeigt erstaunlich gute Vertrauensbereiche – für den $L_{A,eq}$ beispielsweise 0,7 dB. Hier ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die Position des Messpunkts im Rahmen des Ringversuchs klar definiert war. Für die Anwendung in der Praxis ist weiters zu berücksichtigen, dass Rauminnenpegel weder im Rahmen einer Ausbreitungsberechnung exakt ermittelt noch dass Messergebnisse von einem Raum einfach auf einen anderen übertragen werden können.

Für die Ermittlung der Pegeldifferenz 0,5 m vor der Fassade und im Raum bei gekipptem Fenster wurden Messungen für eine Messanordnung „Straße“ und eine Messanordnung „Flug“ durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass im Fall senkrecht zur Fassade einfallenden Schalls (Messanordnung „Straße“) ein Wert von -14 dB, wie er sich auch aus theoretischen Überlegungen ableiten lässt, angenommen werden kann. Für von oben einfallenden Schall (Messanordnung „Flug“) ergab sich wie erwartet eine größere Pegeldifferenz. Die Messergebnisse bestätigen, dass der in der Mediation beim Flughafen Wien Schwechat generalisierte Wert von 15 dB eine durchaus realistische Annahme darstellt.

EXECUTIVE SUMMARY

Within the work of the Forum Schall a number of interlaboratory comparisons on measurement of sound have already been carried out. The interlaboratory comparison presented here, which is a continuation of these basic tests, compares different measuring methods and includes measurements carried out to determine the level difference between ambient sound levels in front of a building and the levels indoors with a tilted window.

The question of the uncertainty of sound measurement results is of interest especially in the context of the revision of the Austrian standard ÖNORM S 5004 “measurement of sound exposure levels” and the adoption of the interfacial microphone measurement method (as described in ISO 1996-2). The influence of a tilted window on the level difference between the sound levels outside the front of a building and the levels indoors is of interest in the context of the revision of guideline No 3 of the Austrian Noise Abatement Association “evaluation of sound exposure levels”.

In order to determine the result uncertainties, a comparison of several measuring methods was carried out and road traffic noise was selected as the type of noise to be tested. To obtain the same conditions of exposure, the road traffic noise was rendered via a building acoustics loudspeaker.

As confidence interval for the measurement at 0.5 m in front of the open window, a value of 0.9 dB was determined for the $L_{A,eq}$. The range of the confidence intervals obtained with this measuring method is comparable to the confidence intervals obtained in previous interlaboratory comparisons for measurements outside.

The measurement at the interface produced the highest accuracy, and the confidence interval for $L_{A,eq}$ was 0.6 dB. For this reason alone it seems necessary to consider this measuring method when revising the standard for measuring sound exposure levels.

The measurement indoors with the open window also produced remarkably good confidence intervals, such as 0.7 dB for the $L_{A,eq}$. However, it should be noted here that the position of the measuring point for this interlaboratory test was clearly defined. As regards practical application, it should also be considered that with dispersion calculations, exact calculations of indoor sound levels are not possible, and that the measurement results obtained in one room cannot simply be applied to another room.

In order to determine the level difference between the sound levels at 0.5 m outside the front of a building and the levels indoors with a tilted window, measurements were carried out under a standard for measuring “roads” and a standard for measuring “flights”. It was shown that, with the sound travelling vertically to the house front (standard for measuring “roads”), a value of 14 dB (as can also be deduced from theoretical considerations) could be assumed. As expected, with the sound coming from above (standard for measuring “flights”), the level difference was more pronounced. The measurement results confirm that the general value of 15 dB which was used in the mediation process for the Vienna airport at Schwechat is an entirely realistic assumption.



1 EINLEITUNG

Das Forum Schall wurde ursprünglich als „Arbeitsgruppe Qualitätssicherung von Umweltmessdaten – Schalltechnische Messungen“ auf Beschluss der Landesumweltreferentenkonferenz im September 1994 gegründet und im Umweltbundesamt angesiedelt. Unter Leitung von Fr. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Judith Lang wurde ein Musterqualitätsmanagementhandbuch erstellt. Zur Bestimmung der Messunsicherheiten wurden in diesem Zusammenhang mehrere Ringversuche und Vergleichsmessungen durchgeführt. So wurden bauakustische Messungen, Vergleichsmessungen der Schallimmissionen durch Straßenverkehr und eine Betriebsanlage, der Schall-emission einer Quelle sowie zwei Vergleichsrechnungsserien mittels Rechenprogrammen durchgeführt und ausgewertet. Im Jahr 2003 erfolgte ein weiterer Ringversuch zur Messung der Schallimmission inklusive Analyse der Vertrauensbereiche der Anpassungswerte für unterschiedliche Geräuschcharakteristika. Ergebnisse dieser Ringversuche sind wiederholt in die aktuellen Bearbeitungen von Richtlinien und Normen eingegangen. In konsequenter Fortführung der Grundlagenarbeit des Forum Schall wurde nun ein Ringversuch zum Vergleich von Messmethoden veranstaltet und ausgewertet. Die Arbeiten dienen sowohl der Unterstützung der AG 135 im Österreichischen Arbeitsring für Lärmbekämpfung bei der Neufassung der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 „Beurteilung der Schallimmission“ wie auch der Arbeitsgruppe im Fachnormenausschuss 138 „Akustik“ bei der Überarbeitung der ÖNORM S 5004 „Messung der Schallimmission“.

In zusätzlichen Messaufgaben soll auch untersucht werden, welche Pegeldifferenz im Freien und im Raum bei gekipptem Fenster angesetzt werden kann. In diesem Zusammenhang durchgeführte theoretische Überlegungen bei der Bewertung von Fluglärm sollen hier bestätigt werden.



2 MOTIVATION

Der Ringversuch „Messung der Schallimmission 2003“ bewirkte aufgrund der großen Vertrauensbereiche in der Bewertung von Geräuschcharakteristika ein Umdenken in der Vergabe von Anpassungswerten. Diese Ergebnisse fanden auch Einfluss in die Arbeiten zur Neufassung der allgemein angewendeten Beurteilungsgrundlage in Österreich, der ÖAL-Richtlinie Nr. 3. Im Zusammenhang mit diesen Aktivitäten zur Beurteilung der Schallimmission war es auch notwendig, die einschlägige Schallmessnorm zu überarbeiten. Diese Normenüberarbeitung wurde auch zum Anlass genommen, ein neues Messverfahren mit Grenzflächenmikrofon einzuführen, wie dies in ISO 1996-2 beschrieben ist. In dieser neuen Fassung der ÖNORM S 5004 sollen auch Angaben zur Ergebnisunsicherheit schalltechnischer Messungen verpflichtend sein.

Offene Fragen über die Genauigkeiten verschiedener Messpunkte wie auch in Zusammenhang mit der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 hinsichtlich des Einflusses eines gekippten Fensters auf die Pegeldifferenz zwischen der Immission vor der Fassade und im Raum waren zu klären. Aus diesem Grund wurde mitten in der Überarbeitungsphase ein Ringversuch organisiert und durchgeführt. Im Gegensatz zum Ringversuch „Messung der Schallimmission 2003“ stand für die Durchführung nur ein kurzer Zeitraum zur Verfügung. Der Ringversuch wurde daher in einem begrenzten Teilnehmerkreis – im Wesentlichen Mitglieder des Forum Schall – veranstaltet. Für weitere akkreditierte und zertifizierte Prüfstellen sind weitere Ringversuche aber wieder in Planung.



3 TEILNEHMER

Aufgrund der gebotenen Eile erfolgte die Ausschreibung des Ringversuches in einem beschränkten Teilnehmerkreis, der unter dem Aspekt akquiriert wurde, dass die erforderliche statistische Qualität hinsichtlich Anzahl der Prüfstellen und Anzahl der Mehrfachmessungen gegeben war. Im Wesentlichen wurden Mitglieder des Forum Schall angesprochen. Die TAS Schreiner GmbH, die auch prominent in der Neufassung der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 vertreten ist, erklärte sich spontan zur Teilnahme bereit. In alphabetischer Reihenfolge sind die Teilnehmer an diesem Ringversuch aufgelistet:

- Amt der Salzburger Landesregierung Abt. Umweltschutz
– Referat Immissionsschutz
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung – FA 17c
- Magistrat Linz – Umwelt und Technik Center
- Magistrat Innsbruck – Umweltreferat
- Magistrat Wien – MA 22
- TAS Schreiner GmbH.

Einige Prüfstellen waren mit zwei Messteams am Ringversuch beteiligt, so dass in Summe zehn „Prüfstellen“ in die Auswertung aufgenommen werden konnten.

4 AUFGABENSTELLUNG

4.1 Ringversuchplanung

Das primäre Ziel des Ringversuches war die Bestimmung der Vertrauensbereiche der Messung der Schallimmission. Wie beim Ringversuch „Messung der Schallimmission 2003“ wurde in der Planung des Ringversuches besonders darauf geachtet, negative Einflüsse auf die Reproduzierbarkeit der Messungen so weit wie möglich zu minimieren. Das zu untersuchende Geräusch sollte Straßenverkehrslärm sein. Die Messung an einer realen Straße hätte zum Nachteil gehabt, dass eine Umrechnung der aktuellen Verkehrsstärke auf ein standardisiertes Verkehrsaufkommen notwendig gewesen wäre. Auch in diesem Fall würde sich nur der $L_{A,eq}$ mit hoher Genauigkeit darstellen lassen, da bei unterschiedlichem Schwerverkehrsanteil die statistischen Pegel $L_{A,95}$ und $L_{A,1}$ auch bei gleichem energieäquivalentem Dauerschallpegel unterschiedlich sein können. In diesem Fall wäre eine Interpretation der Vertrauensbereiche für die statistischen Pegel nur schwer möglich.

Es fiel daher wiederum die Entscheidung auf eine technische Geräuschquelle, welche in Form eines Bauakustiklautsprechers „Norsonic Dodekaeder Lautsprecher NOR-270“ mit Linearverstärker und Signalwiedergabe aus einem CD-Player realisiert wurde. Abgespielt wurde dasselbe Straßenverkehrsgeräusch wie im Ringversuch 2003. Dies ermöglicht einen Vergleich der beiden Ringversuche bzw. der so ermittelten Vertrauensbereiche für die Messung im Freien und vor der Fassade.

Die Messungen erfolgten im Verlauf eines einzigen Messtages, wobei die Einstellungen der Signalwiedergabe über den ganzen Tag nicht verändert wurden und die Konstanz der Signalwiedergabe elektrisch geprüft wurde. Da keine Abweichungen des Eingangssignals am Lautsprecher zu beobachten waren, kann davon ausgegangen werden, dass eventuell auftretende Signal-Schwankungen vernachlässigbar gering waren.

Um den Einfluss der Meteorologie und des Bodens so gering wie möglich zu halten, wurde der Abstand des Lautsprechers zur Fassade mit 5 m gewählt. Die Höhe betrug 0,5 m über Bodenniveau. Bei der Messung herrschte fast durchgehend Windstille, der Einfluss des Windes war daher für die bei den Messungen vorgefundenen Bedingungen vernachlässigbar.

Für den Messort stellten sich noch weitere Bedingungen. Das vorhandene Hintergrundgeräusch musste ausreichend niedrig sein, um keinen Beitrag zu den zu messenden Geräuschen zu liefern. Eine entsprechende Entfernung von anderen Schallquellen, insbesondere von Hauptverkehrsträgern war hier notwendig. Weiters sollte der Messort auch einen entsprechenden Abstand zu Wohngebäuden aufweisen, um bei den Messungen keine unzumutbaren Belästigungen hervorzurufen.

4.2 Messort

Die oben zitierten Planungskriterien konnten im Jugendhaus „Gufi“ (www.gufi.at) am Tulfer Berg in der Nähe von Hall in Tirol vorgefunden werden. Das Haus war zum Zeitpunkt der Durchführung des Ringversuches nicht belegt und liegt abgelegen von anderen bewohnten Objekten wie auch Verkehrsträgern. Dadurch behinderten einerseits keine Störgeräusche den Ringversuch und andererseits wurde auch niemand durch die fast permanente Signalabgabe gestört. Herrn DI Gregor Drewes wird für die Möglichkeit der Durchführung herzlich gedankt!



Abbildung 1:
Ansicht Messplatz

4.3 Messaufgaben

Im Gegensatz zu früheren Ringversuchen war der Ringversuchsleiter bei den Messungen ständig anwesend. Detaillierte Erläuterungen wurden aber nicht abgegeben sondern lediglich die Messaufgaben und der Ablauf erklärt. Die Ausschreibung der Messaufgabe lautete wie folgt:

Das zu messende Signal ist ein über CD und Leistungsverstärker abgespieltes Verkehrsgeräusch. Folgende Messmethoden sind anzuwenden:

4.3.1 Messung vor der Fassade

Mikrofon 0,5 m außerhalb, vor der Mitte eines geöffneten Fensters.

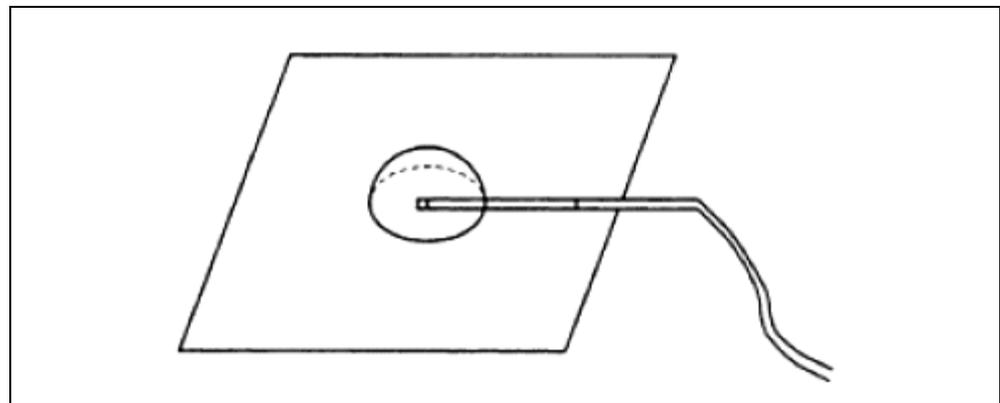
4.3.2 Grenzflächenmethode

Die Messung wird mit dem direkt auf der Fassade (Fenster) befestigten Mikrofon durchgeführt, das mit seiner Achse entweder parallel zur Fassadenoberfläche nach oben oder unten, oder mit seiner Achse normal gegen das Fenster gerichtet ist.

Der Abstand des Mittelpunkts der Mikrofonmembran zur Fensteroberfläche darf maximal 10 mm betragen – je nach Durchmesser des Mikrofons, wenn die Mikrofonachse parallel zur Oberfläche des Fensters ist – und maximal 3 mm, wenn die Mikrofonachse normal zum Fenster liegt. Sofern das Mikrofon befestigt wird, ist es mit einem festen Klebeband auf der Fensterfläche zu befestigen. Das Mikrofon wird mit einem halbkugelförmigen Windschirm ausgestattet.

Die bei der Messung mit dem Grenzflächenmikrofon ermittelten Schallpegel sind um 6 dB zu vermindern.

Abbildung 2:
Darstellung
Grenzflächenmikrofon
schematisch.



4.3.3 Messung im Raum

Mikrofon 1,5 m hinter dem geöffneten Fenster.

Die Messzeit ist mindestens so lange zu wählen, dass ein einzelnes, signifikantes Schallereignis, wie z. B. die Vorbeifahrt eines Kraftfahrzeuges der lautesten Kategorie, den energieäquivalenten Dauerschallpegel um nicht mehr als 0,1 dB verändert.

Von jeder Messung sind fünf Mehrfachmessungen durchzuführen. Die Einzangaben für $L_{A,eq}$, $L_{A,95}$ und $L_{A,1}$ sind im Anschluss an jede Messung sofort dem Ringversuchleiter bekannt zu geben. Eine weitere Auswertung der Messungen und Berichterstellung sind nicht erforderlich.

Als Prüfsignal wurde Straßenverkehrsgeräusch wie beim Ringversuch „Messung der Schallimmission 2003“ ausgewählt (dieselbe CD):

Vom Prüfsignal sollten an jedem Messpunkt fünf Messungen durchgeführt werden. Dabei sollte die Art der Durchführung immer dieselbe sein. Zwischen diesen fünf Messdurchgängen sollten die Messausrüstungen abgebaut werden. Kalibrierungen waren für jeden Messdurchgang neu durchzuführen.



4.4 Empfangsraum

Der Empfangsraum für die Messung hatte ein Volumen von 30 m^3 . Das vollständige geöffnete Fenster hatte einen offenen Querschnitt von 1 m^2 . Der Raum war hinsichtlich seiner Ausstattung akustisch gut bedämpft.

In nachstehender Tabelle sind die gemessenen Nachhallzeiten dargestellt:

f [Hz]	T [s]
100	0,5
125	0,3
160	0,3
200	0,3
250	0,2
315	0,2
400	0,3
500	0,2
630	0,3
800	0,3
1 k	0,3
1,25 k	0,3
1,6 k	0,3
2 k	0,3
2,5 k	0,3
3,15 k	0,3
4 k	0,3
5 k	0,3
6,3 k	0,3
8 k	0,2
10 k	0,2

*Tabelle 1:
Nachhallzeiten im
Empfangsraum
(f... Frequenz,
T... Nachhallzeit).*

4.5 Datensammlung

Die Messdaten wurden von den Teilnehmern in Vorlageblättern (siehe Abbildung 3) eingetragen und dem Ringversuchsleiter nach Durchführung der Messungen retourniert.

Nr.	Prüfstelle	vor Fassade			im Raum			Grenzfläche		
		$L_{A,eq}$	$L_{A,95}$	$L_{A,1}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,95}$	$L_{A,1}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,95}$	$L_{A,1}$
1										
2										
3										
4										
5										

Abbildung 3: Formblatt für die statistischen Erhebungen.

4.6 Meteorologie

Während der Messung war es bewölkt und windstill. Das Temperaturniveau lag im Bereich um 11 °C und der Luftdruck betrug 867 hPa. Die relative Luftfeuchte lag bei 80 %.



4.7 Messdurchführungen durch die Prüfstellen

Tabelle 2: Angaben zur Messdurchführung.

Prüfstelle Nr.	Messgerät	Kalibrator	Mikrofon Grenzfläche	Mikrofon vor der Fassade und im Raum
1	Norsonic 116	Norsonic 1253	Norsonic 1201	Norsonic 1201
2	Norsonic 121	Norsonic 1251	Norsonic 1201 + Brüel&Kjaer 4165	Norsonic 1201 + Brüel & Kjaer 4165
3	Norsonic 110	Brüel&Kjaer 4230	Brüel&Kjaer 4190	Brüel & Kjaer 4190
4	Norsonic 118	Norsonic 1251	Norsonic 1225 + 1206	Norsonic 1225 + 1206
5	Brüel&Kjaer 2260	Brüel&Kjaer 4230	Brüel&Kjaer 4189	Brüel & Kjaer 4189
6	Brüel&Kjaer 2260	Brüel&Kjaer 4230	Brüel&Kjaer 4189	Brüel & Kjaer 4189
7	Norsonic 118	Norsonic 1251	Grass 26AS + Grass 41AF	Norsonic 1206 + Brüel & Kjaer 4165
8	Norsonic 110	Brüel&Kjaer 4231	Norsonic 1201 + Brüel&Kjaer 4165	Norsonic 1201 + Brüel & Kjaer 4165
9	Larson Davis 824	Rion NC 73/M91	Larson Davis PRM 902	Larson Davis PRM 902
10	Norsonic 118	Norsonic 1251	Norsonic 1201	Norsonic 1201

5 STATISTISCHE BERECHNUNGEN

Die Vorbereitung und Auswertung des Ringversuches erfolgte sinngemäß nach ÖNORM EN 20140-2 „Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Angaben von Genauigkeitsanforderungen“. Die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichspräzision erfolgte gemäß der ISO 5725-1 „Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen“. Die Behandlung statistischer Ausreißer erfolgte nach DIN ISO 5725, Ausgabe 1988.

5.1 Kennwerte

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

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.

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 γ der zu messenden Größe durchgeführt, ist der **Vertrauensbereich** für den wahren Wert μ (z. B. eine Anforderung oder ein in einem Vertrag festgelegter Wert):

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



5.2 Begriffserläuterungen

Vor allem in der folgenden Darstellung werden statistische Begriffe verwendet, die nicht allgemein geläufig sind. Es werden daher die verwendeten Begriffe in allgemein verständlicher Form erläutert¹.

5.2.1 Standardabweichung

Die Standardabweichung ist die Wurzel aus der Varianz eines Datenbündels. Durch das Wurzelziehen wird die Quadrierung der Abweichungen „rückgängig gemacht“, so dass 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 Schätzer für die Grundgesamtheit:

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

5.2.2 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.

¹ 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 α 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.

5.2.3 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.

5.2.4 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.

5.2.5 Interquartilabstand

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 Prozent der Daten berücksichtigt werden, ist das Maß gegen einzelne stark abweichende Datenwerte resistent.



5.2.6 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 GU und der Obergrenze GO 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-prozentigen Überdeckungswahrscheinlichkeit so zu verstehen, dass in 95 Prozent aller Stichproben das Konfidenzintervall den wahren Wert enthält.

5.3 Darstellung

Mittelwerte und Standardabweichungen sind für alle Messwerte und Teilnehmer in Tabellen angegeben und graphisch in Form von Boxplots dargestellt. Die Darstellung in Tabellenform erfolgt bei den einzelnen Geräuscharten, die Boxplots werden als Zusammenfassung in Kapitel 7 behandelt.

5.4 Berechnungen zu den einzelnen 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.

Von den 10 Teilnehmern ($p = 10$) wurden jeweils 5 Mehrfachmessungen ($n = 5$) durchgeführt. Damit ergibt sich:

$$p(n - 1) = 10(5 - 1) = 40 \geq 35 \quad \text{Bedingung nach ÖNORM EN 20140-2 erfüllt.}$$

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 Labors leitet sich die Vergleichsgrenze R ab.



5.5 Behandlung von Ausreißern

Potenzielle Ausreißer wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. Es zeigte sich, dass bei der Datenübertragung in Schriftform die häufigste Fehlerursache gegeben ist. Durch die zweifache Überprüfung sämtlicher Prüfergebnisse können solche Fehler ausgeschlossen werden. Eine Messung wurde vom Teilnehmer selbst als Ausreißer erkannt und wurde, wie im Feld auch üblich, gleich wiederholt. Sie findet daher keinen Niederschlag im Ergebnis des Ringversuches. Im Übrigen traten „echte“ Ausreißer nicht auf. Statistische Ermittlungen von Ausreißern wurden nicht durchgeführt.

6 ERGEBNISSE DER EINZELNEN AUFGABEN

6.1 Messung vor der Fassade

Nr.	$L_{A,eq}$					$L_{A,95}$					$L_{A,1}$				
	1	65,3	66,3	65,5	65,9	65,4	55,1	56,6	56,0	56,0	55,4	72,9	74,2	72,6	72,6
	65,7					55,8					73,0				
2	65,1	65,0	65,8	65,1	65,8	55,0	55,0	56,2	55,0	56,0	72,2	72,4	72,8	72,6	72,6
	65,4					55,4					72,5				
3	65,8	66,0	65,8	65,9	66,2	56,2	56,4	55,8	56,0	56,2	72,4	72,6	72,6	73,0	72,8
	65,9					56,1					72,7				
4	65,7	65,8	65,9	66,1	66,0	55,5	55,6	55,9	56,2	56,1	71,6	71,8	72,3	72,1	72,3
	65,9					55,9					72,0				
5	66,1	66,1	66,1	66,3	66,2	54,4	56,1	56,0	56,2	55,6	72,2	71,9	72,1	72,1	72,1
	66,2					55,7					72,1				
6	65,7	65,7	65,9	65,8	65,4	55,8	55,8	55,9	56,3	55,3	72,1	72,0	71,9	71,9	72,3
	65,7					55,8					72,0				
7	65,0	65,0	64,9	65,0	65,0	54,9	55,0	55,3	54,8	54,6	70,9	71,3	71,6	71,5	72,0
	65,0					54,9					71,5				
8	65,3	65,1	65,1	65,1	65,1	55,3	55,3	55,2	55,0	55,1	71,5	71,4	71,6	71,4	71,4
	65,1					55,2					71,5				
9	65,0	65,4	65,9	64,8	65,3	55,0	54,8	55,8	54,2	55,0	71,4	73,0	73,8	72,2	73,2
	65,3					55,0					72,7				
10	65,0	66,1	65,7	66,0	65,3	54,8	55,5	55,4	55,5	55,7	72,9	74,2	73,4	74,0	72,3
	65,6					55,4					73,4				

Tabelle 3:
Messung vor der
Fassade – Messwerte
und Mittelwerte in dB.

Nr.	$L_{A,eq}$					$L_{A,95}$					$L_{A,1}$				
	1	65,3	66,3	65,5	65,9	65,4	55,1	56,6	56,0	56,0	55,4	72,9	74,2	72,6	72,6
	0,41					0,58					0,71				
2	65,1	65,0	65,8	65,1	65,8	55,0	55,0	56,2	55,0	56,0	72,2	72,4	72,8	72,6	72,6
	0,40					0,61					0,23				
3	65,8	66,0	65,8	65,9	66,2	56,2	56,4	55,8	56,0	56,2	72,4	72,6	72,6	73,0	72,8
	0,17					0,23					0,23				
4	65,7	65,8	65,9	66,1	66,0	55,5	55,6	55,9	56,2	56,1	71,6	71,8	72,3	72,1	72,3
	0,16					0,30					0,31				
5	66,1	66,1	66,1	66,3	66,2	54,4	56,1	56,0	56,2	55,6	72,2	71,9	72,1	72,1	72,1
	0,09					0,74					0,11				
6	65,7	65,7	65,9	65,8	65,4	55,8	55,8	55,9	56,3	55,3	72,1	72,0	71,9	71,9	72,3
	0,19					0,36					0,17				
7	65,0	65,0	64,9	65,0	65,0	54,9	55,0	55,3	54,8	54,6	70,9	71,3	71,6	71,5	72,0
	0,04					0,26					0,40				
8	65,3	65,1	65,1	65,1	65,1	55,3	55,3	55,2	55,0	55,1	71,5	71,4	71,6	71,4	71,4
	0,09					0,13					0,09				
9	65,0	65,4	65,9	64,8	65,3	55,0	54,8	55,8	54,2	55,0	71,4	73,0	73,8	72,2	73,2
	0,42					0,57					0,93				
10	65,0	66,1	65,7	66,0	65,3	54,8	55,5	55,4	55,5	55,7	72,9	74,2	73,4	74,0	72,3
	0,47					0,34					0,78				

Tabelle 4:
Messung vor der
Fassade – Messwerte
und Standard-
abweichungen in dB.



6.2 Messung an der Grenzfläche

Tabelle 5:
Messung an der
Grenzfläche –
Messwerte und
Mittelwerte in dB.

Nr.	$L_{A,eq}$					$L_{A,95}$					$L_{A,1}$				
	1	71,4	70,6	70,8	70,7	71,2	61,1	60,5	60,9	60,5	61,2	77,8	77,3	77,0	77,3
	70,9					60,8					77,5				
2	70,6	70,9	70,7	70,6	70,7	60,4	60,8	60,6	60,4	61,0	78,2	78,0	77,2	77,2	77,0
	70,7					60,6					77,5				
3	71,0	71,0	70,9	70,8	70,7	61,0	61,0	60,8	61,0	60,6	77,8	77,8	77,6	77,6	77,4
	70,9					60,9					77,6				
4	70,6	70,7	70,8	70,8	70,6	60,4	60,7	60,9	60,4	60,5	77,5	77,8	77,2	77,7	76,8
	70,7					60,6					77,4				
5	71,7	71,3	71,0	71,1	71,2	61,2	61,3	60,7	61,3	61,0	77,5	77,9	77,3	77,5	77,6
	71,3					61,1					77,6				
6	70,7	70,9	70,6	70,8	70,8	60,5	60,9	60,3	60,6	60,6	77,3	77,2	77,8	77,2	76,9
	70,8					60,6					77,3				
7	70,7	70,8	70,7	70,7	70,4	60,6	60,6	60,5	61,3	60,4	76,9	76,9	76,9	77,0	76,5
	70,7					60,7					76,8				
8	70,6	70,6	71,0	70,8	70,9	60,8	60,4	61,4	60,6	60,7	77,4	77,0	77,3	77,5	77,6
	70,8					60,8					77,4				
9	70,4	70,5	70,5	70,4	70,6	60,2	60,2	60,2	60,2	60,4	77,2	76,8	76,6	76,6	76,8
	70,5					60,2					76,8				
10	70,2	70,3	70,3	70,1	70,2	60,0	60,5	60,5	59,9	60,3	76,3	76,5	76,5	76,3	76,7
	70,2					60,2					76,5				

Tabelle 6:
Messung an der
Grenzfläche –
Messwerte und
Standardabweichungen
in dB.

Nr.	$L_{A,eq}$					$L_{A,95}$					$L_{A,1}$				
	1	71,4	70,6	70,8	70,7	71,2	61,1	60,5	60,9	60,5	61,2	77,8	77,3	77,0	77,3
	0,34					0,33					0,38				
2	70,6	70,9	70,7	70,6	70,7	60,4	60,8	60,6	60,4	61,0	78,2	78,0	77,2	77,2	77,0
	0,12					0,26					0,54				
3	71,0	71,0	70,9	70,8	70,7	61,0	61,0	60,8	61,0	60,6	77,8	77,8	77,6	77,6	77,4
	0,13					0,18					0,17				
4	70,6	70,7	70,8	70,8	70,6	60,4	60,7	60,9	60,4	60,5	77,5	77,8	77,2	77,7	76,8
	0,10					0,22					0,41				
5	71,7	71,3	71,0	71,1	71,2	61,2	61,3	60,7	61,3	61,0	77,5	77,9	77,3	77,5	77,6
	0,27					0,25					0,22				
6	70,7	70,9	70,6	70,8	70,8	60,5	60,9	60,3	60,6	60,6	77,3	77,2	77,8	77,2	76,9
	0,11					0,22					0,33				
7	70,7	70,8	70,7	70,7	70,4	60,6	60,6	60,5	61,3	60,4	76,9	76,9	76,9	77,0	76,5
	0,15					0,36					0,19				
8	70,6	70,6	71,0	70,8	70,9	60,8	60,4	61,4	60,6	60,7	77,4	77,0	77,3	77,5	77,6
	0,18					0,38					0,23				
9	70,4	70,5	70,5	70,4	70,6	60,2	60,2	60,2	60,2	60,4	77,2	76,8	76,6	76,6	76,8
	0,08					0,09					0,24				
10	70,2	70,3	70,3	70,1	70,2	60,0	60,5	60,5	59,9	60,3	76,3	76,5	76,5	76,3	76,7
	0,08					0,28					0,17				

6.3 Messung im Raum

Nr.	$L_{A,eq}$					$L_{A,95}$					$L_{A,1}$				
1	62,2	61,6	61,8	61,1	60,8	52,2	51,3	51,5	51,2	50,6	69,0	68,7	68,5	68,1	68,2
	61,5					51,4					68,5				
2	61,5	61,5	61,7	61,6	61,1	51,4	51,6	51,6	51,4	50,8	68,6	68,6	68,8	68,6	69,0
	61,5					51,4					68,7				
3	61,4	62,2	61,6	61,7	61,5	51,4	52,4	51,6	52,0	51,6	68,2	68,6	68,0	68,0	68,0
	61,7					51,8					68,2				
4	61,9	61,3	60,5	61,4	61,5	52,0	51,1	50,3	51,4	51,6	68,2	67,4	67,2	67,6	68,1
	61,3					51,3					67,7				
5	61,7	61,9	61,7	62,1	61,6	51,6	52,1	51,5	52,1	51,0	68,3	68,3	68,3	68,1	68,2
	61,8					51,7					68,2				
6	61,6	61,7	61,5	61,4	61,4	51,7	51,5	52,0	51,1	51,0	67,9	68,3	67,5	68,2	68,1
	61,5					51,5					68,0				
7	61,3	61,2	61,0	61,2	60,7	51,0	50,9	50,8	51,0	50,4	68,1	67,9	67,8	67,9	67,7
	61,1					50,8					67,9				
8	61,4	61,2	61,4	61,2	61,2	51,2	51,2	51,4	51,2	50,9	68,0	67,7	67,8	67,8	67,8
	61,3					51,2					67,8				
9	61,0	61,2	61,0	61,3	61,2	50,6	50,8	50,4	50,6	51,0	67,8	67,8	67,6	67,8	67,8
	61,1					50,7					67,8				
10	61,0	61,2	61,4	61,5	60,9	50,9	50,7	51,2	51,3	50,5	67,8	68,2	68,4	68,4	68,1
	61,2					50,9					68,2				

Tabelle 7:
Messung im Raum
– Messwerte und
Mittelwerte in dB.

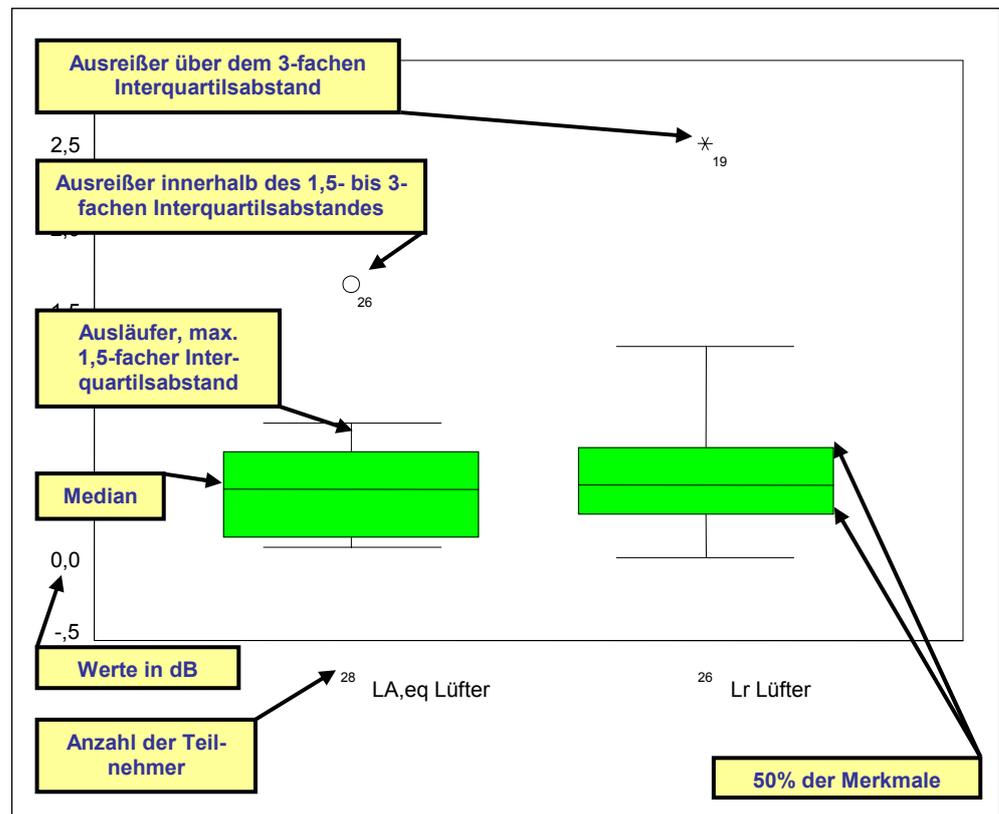
Nr.	$L_{A,eq}$					$L_{A,95}$					$L_{A,1}$				
1	62,2	61,6	61,8	61,1	60,8	52,2	51,3	51,5	51,2	50,6	69,0	68,7	68,5	68,1	68,2
	0,56					0,58					0,37				
2	61,5	61,5	61,7	61,6	61,1	51,4	51,6	51,6	51,4	50,8	68,6	68,6	68,8	68,6	69,0
	0,23					0,33					0,18				
3	61,4	62,2	61,6	61,7	61,5	51,4	52,4	51,6	52,0	51,6	68,2	68,6	68,0	68,0	68,0
	0,31					0,40					0,26				
4	61,9	61,3	60,5	61,4	61,5	52,0	51,1	50,3	51,4	51,6	68,2	67,4	67,2	67,6	68,1
	0,51					0,64					0,44				
5	61,7	61,9	61,7	62,1	61,6	51,6	52,1	51,5	52,1	51,0	68,3	68,3	68,3	68,1	68,2
	0,20					0,46					0,10				
6	61,6	61,7	61,5	61,4	61,4	51,7	51,5	52,0	51,1	51,0	67,9	68,3	67,5	68,2	68,1
	0,13					0,42					0,32				
7	61,3	61,2	61,0	61,2	60,7	51,0	50,9	50,8	51,0	50,4	68,1	67,9	67,8	67,9	67,7
	0,24					0,25					0,15				
8	61,4	61,2	61,4	61,2	61,2	51,2	51,2	51,4	51,2	50,9	68,0	67,7	67,8	67,8	67,8
	0,11					0,18					0,11				
9	61,0	61,2	61,0	61,3	61,2	50,6	50,8	50,4	50,6	51,0	67,8	67,8	67,6	67,8	67,8
	0,13					0,23					0,09				
10	61,0	61,2	61,4	61,5	60,9	50,9	50,7	51,2	51,3	50,5	67,8	68,2	68,4	68,4	68,1
	0,25					0,33					0,25				

Tabelle 8:
Messung im Raum
– Messwerte und
Standardabweichungen
in dB.

7 BOXPLOTS

Boxplots stellen schematisch eine Häufigkeitsverteilung dar. Zwischen dem ersten und dritten Quartil wird ein Balken aufgebaut, der somit 50 % der Merkmale umfasst. Der Median wird als dickere 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 Autoren 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 zu dem entsprechenden Teilnehmer.

Abbildung 4:
Grafische Darstellung
der Boxplot-
Informationen an
einem Beispiel.





7.1 Energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$

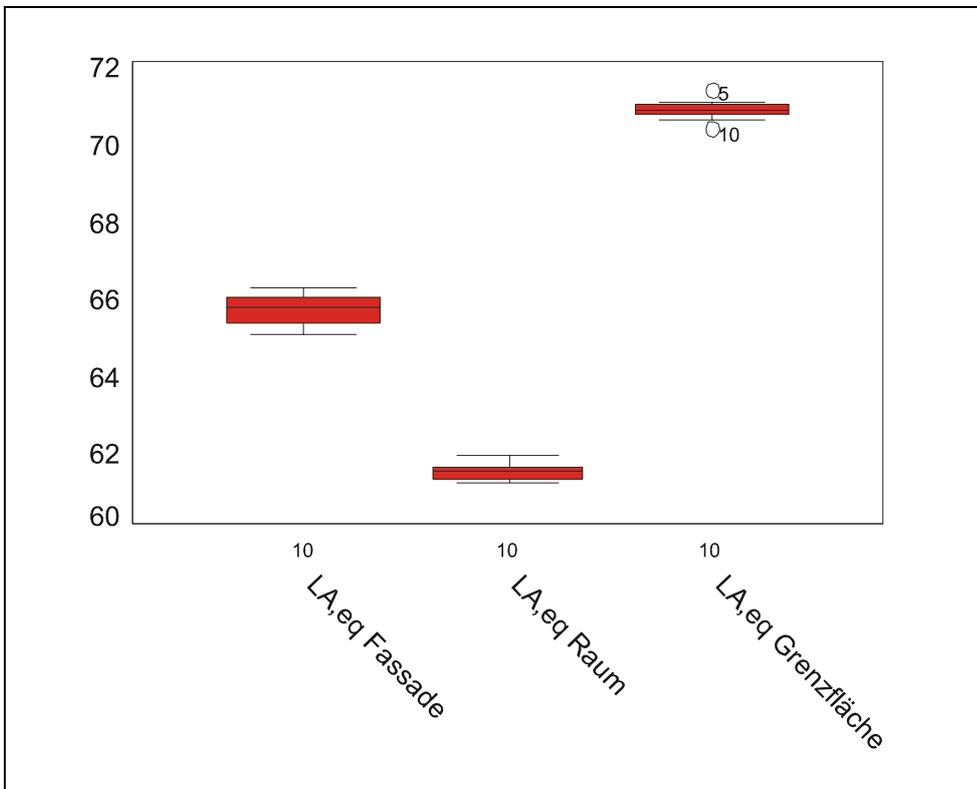


Abbildung 5:
Boxplots Mittelwerte
aller $L_{A,eq}$ in dB.

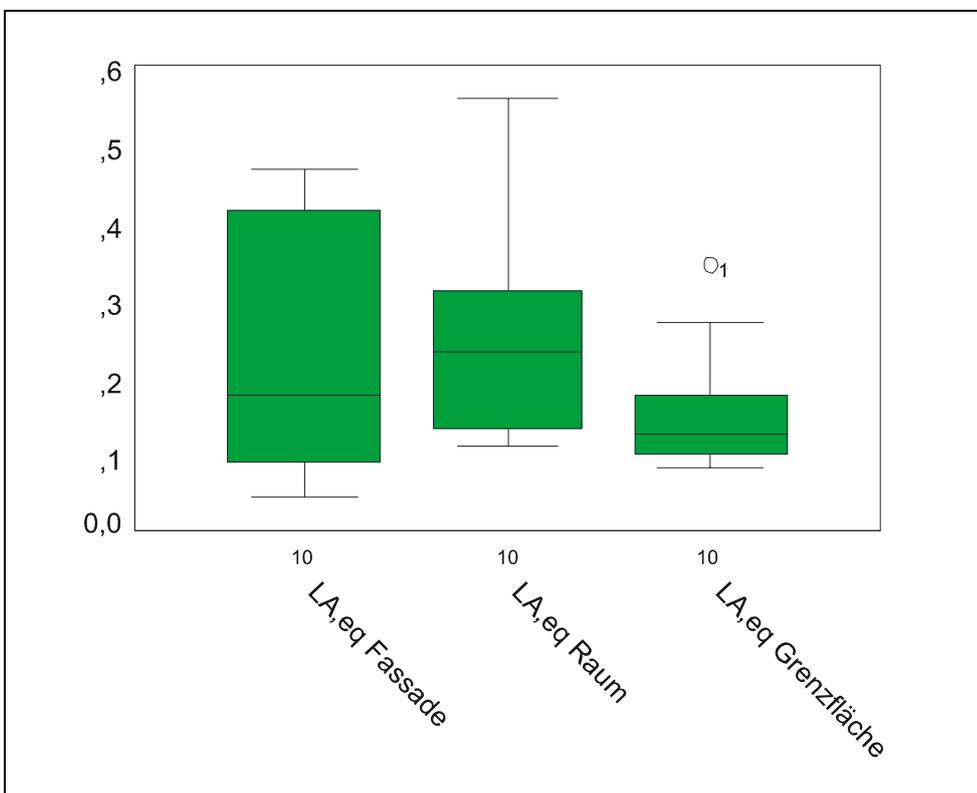


Abbildung 6:
Boxplots
Standardabweichungen
aller $L_{A,eq}$ in dB.

7.2 Basispegel $L_{A,95}$

Abbildung 7:
Boxplots Mittelwerte
aller $L_{A,95}$ in dB.

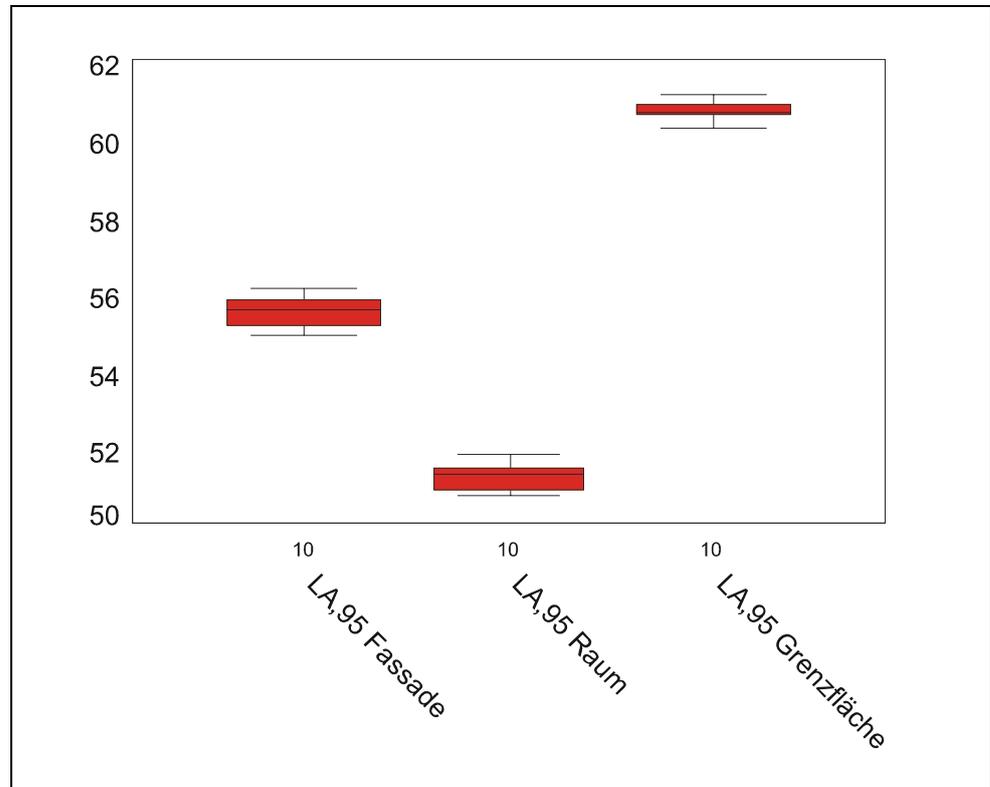
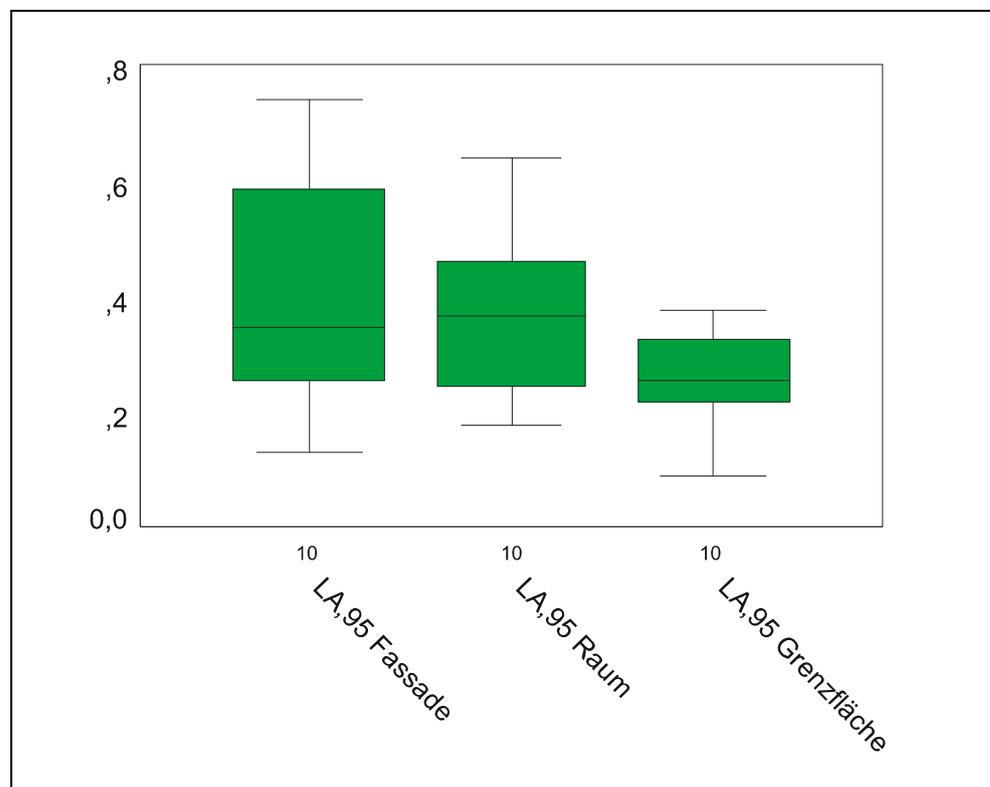


Abbildung 8:
Boxplots
Standardabweichungen
aller $L_{A,95}$ in dB.





7.3 Mittlerer Spitzenpegel $L_{A,1}$

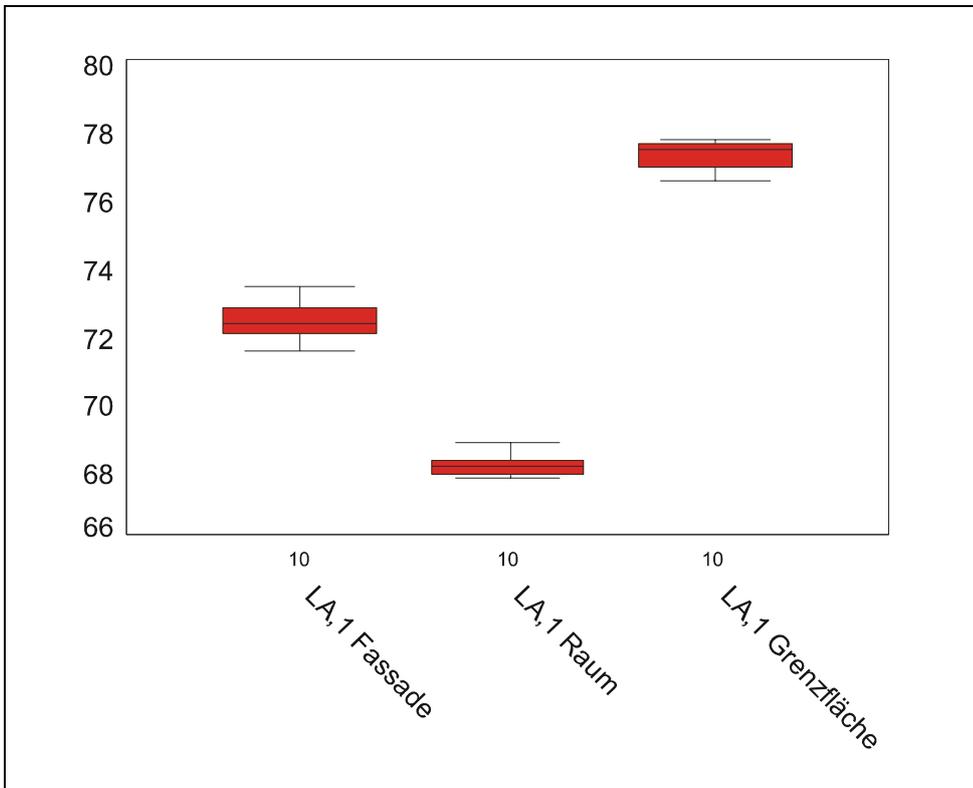


Abbildung 9:
Boxplots Mittelwerte
aller $L_{A,1}$ in dB

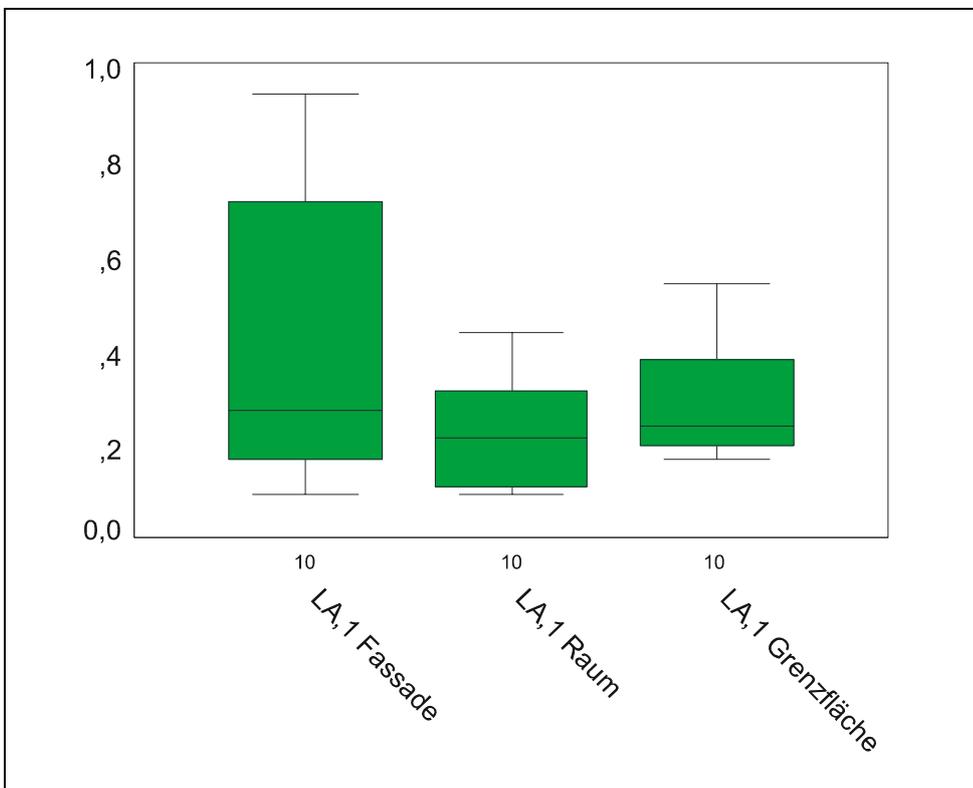


Abbildung 10:
Boxplots
Standardabweichungen
aller $L_{A,1}$ in dB.



8 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

*Tabelle 9:
Zusammenfassung der
Vertrauensbereiche für
die Einzulangaben
in dB.*

$\pm R/\sqrt{2}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,95}$	$L_{A,1}$
vor der Fassade	0,9	1,1	1,5
im Raum	0,7	1,0	0,8
Grenzfläche	0,6	0,7	1,0

*Tabelle 10:
Mittelwerte m ,
Wiederholgrenzen r ,
Vergleichsgrenzen R
und Vertrauensbereiche
in dB.*

Geräusch	Größe	m	r	R	$\pm R/\sqrt{2}$
vor der Fassade	$L_{A,eq}$	65,6	0,8	1,3	0,9
	$L_{A,95}$	55,5	1,3	1,6	1,1
	$L_{A,1}$	72,3	1,4	2,1	1,5
im Raum	$L_{A,eq}$	61,4	0,9	1,0	0,7
	$L_{A,95}$	51,3	1,1	1,4	1,0
	$L_{A,1}$	68,1	0,7	1,1	0,8
Grenzfläche	$L_{A,eq}$	70,7	0,5	0,9	0,6
	$L_{A,95}$	60,7	0,8	1,0	0,7
	$L_{A,1}$	77,2	0,9	1,3	1,0



9 BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Wie in den Tabellen 9 und 10 gut ersichtlich ist, ist das Messverfahren an der Grenzfläche das genaueste Verfahren zur Bestimmung der Schallimmission. Die größten Vertrauensbereiche wurden bei der Messung 0,5 m vor der Fassade ermittelt. Die Messung im Raum bei geöffnetem Fenster zeigt erstaunlich gute Vertrauensbereiche. Ursache dafür dürfte der klar in der Messvorschrift definierte Messpunkt sein. Aus dem Titel der Messunsicherheit heraus kann die Messung im Raum daher nicht diskriminiert werden. Die Messung im Raum hat allerdings den Nachteil, dass die Ergebnisse weder im Rahmen einer Ausbreitungsberechnung exakt ermittelt werden können, noch dass sie von einem Raum auf einen anderen übertragen werden können. Die Einflüsse des Raumes auf die Messwerte wie auch der Versuch einer Abschätzung einer Immission im Raum bei bekannten Pegeln im Freien vor der Fassade ist dem folgenden Kapitel zu entnehmen.

Im Vergleich mit den bislang durchgeführten Ringversuchen liegen die Werte für die Vertrauensbereiche durchaus im bekannten Bereich. Die Messung vor der Fassade erreicht mit 0,9 dB denselben Wert für den Vertrauensbereich wie die Messung im Freien, ermittelt beim Ringversuch „Messung der Schallimmission 2003“. Herausragend besser ist hier die Messung an der Grenzfläche, die mit einem Vertrauensbereich für den $L_{A,eq}$ von 0,6 dB und für die Statistikpegel $L_{A,1}$ und $L_{A,95}$ von 1 dB bzw. 0,7 dB eine deutlich höhere Genauigkeit mit sich bringt. Allein aus diesem Grund wäre es empfehlenswert, dieses Messverfahren im Rahmen der Überarbeitung der Norm zur Messung der Schallimmission zu berücksichtigen. Nach Möglichkeit ist sogar eine Favorisierung dieser Messmethode anzustreben.

10 VERGLEICHSMESSUNG „GEKIPPTES FENSTER“

10.1 Aufgabenstellung

In der Diskussion zur Überarbeitung der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 trat im Themengebiet Fluglärmbewertung wiederholt die Fragestellung auf, wie hoch der Ansatz für die Pegeldifferenz des A-bewerteten Pegels bei Fluglärm vor der Fassade und im Raum bei gekipptem Fenster ist. Notwendig ist ein derartiger Wert, da die Beurteilung der nächtlichen Schalleinwirkungen durch Überflugereignisse auf Basis von Dosis-Wirkungsbeziehungen am Ohr des Schlafers aufbauen soll. Die Richtlinie sieht im Entwurf einen pragmatischen Ansatz vor, indem unabhängig von den tatsächlichen Einflussfaktoren eine Schallpegeldifferenz von 15 dB in Rechnung gebracht wird. Begründet wird dies in einer Anmerkung wie folgt:

Die Beurteilung nächtlicher Störungen durch Fluglärm erfolgt grundsätzlich unter Anwendung der Studienergebnisse, welche von Schallimmissionen am Ohr des Schlafers ausgehen. Um in der Planung eine generalisierte Aussage über die zu erwartenden Pegel am Ohr des Schlafers treffen zu können, ist eine Umrechnung der Pegel im Freien auf Pegel im Raum erforderlich, diese erfolgt mit festgelegten Werten. Bei geöffneten Fenstern ergibt sich für den Übergang vom Schallfeld im Freien in ein Diffusfeld im Raum unter Berücksichtigung eines Fensteranteils (netto offene Fläche) von 10 % der Bodenfläche und einer mittleren Nachhallzeit von 0,5 s und einer Raumhöhe von 2,5 m eine Minderung von 7 dB. Bei größeren Raumhöhen ist diese Minderung höher. Die Differenz zwischen offenen Fenstern und gekippten Fenstern wurde in zahlreichen Untersuchungen mit durchschnittlich 8 dB ermittelt, so dass sich die Differenz zwischen dem Pegel im Freien und dem Pegel am Ohr des Schlafers bei gekippten Fenstern mit 15 dB errechnet. Dieser Wert ergibt sich auch aus theoretischen Überlegungen bei Annahme einer freien Lüftungsfläche von 15 % der Fensterfläche.

Es soll nun anhand eines kleinen Raumes mit durchschnittlicher Belichtungsfläche und durchschnittlichen raumakustischen Verhältnissen untersucht werden, ob diese Überlegungen auch einer messtechnischen Überprüfung standhalten. Der Versuch sollte Aussagen für eine Schalleinfallrichtung von oben (Anordnung „Flug“) und frontal (Anordnung „Straße“) zulassen.

10.2 Versuchsanordnung

Im Nachhang zum Ringversuch wurden im Büro des Auftragnehmers die schalltechnischen Messungen durchgeführt. Dabei assistierte Ing. Harald Mayr vom Umwelt- und Technik Center des Magistrates Linz. Als Versuchsraum diente ein Raum im Erdgeschoß. Dieser weist eine Fläche von 2,40 x 3,70 m und eine Höhe von 2,50 m auf. Das Fenster verschließt eine lichte Öffnung von 1,10 x 1,10 m. Der Spalt im gekippten Zustand des Fensters öffnete unter Berücksichtigung der seitlichen Spalte einen Fensterflächenanteil von 15 %. Als Quelle diente ein Bauakustiklautsprecher mit Signalwiedergabe „Rosa Rauschen“.

Für die Anordnung „Straße“ wurde dieser in 0,5 m Höhe über der eben vorbeiführenden, 5 m entfernten Straße positioniert. Für die Anordnung „Flug“ wurde er annähernd senkrecht über dem Fenster in einer Höhe von 5 m entfernt positioniert.

Gemessen wurde der einfallende Schall am normgerechten Messpunkt, 0,5 m vor dem geöffneten Fenster, an der Grenzfläche des geschlossenen Fensters und in Raummitte bei geöffnetem und gekipptem Fenster. Aus den Messergebnissen wurden die Differenzen gebildet.



Abbildung 11:
Ansicht
Versuchsanordnung
„gekipptes Fenster“.



Tabelle 11:
Nachhallzeiten im
Empfangsraum
(f... Frequenz,
T... Nachhallzeit).

f [Hz]	T [s]
100	0,5
125	0,4
160	0,5
200	0,4
250	0,4
315	0,4
400	0,4
500	0,3
630	0,3
800	0,3
1 k	0,3
1,25 k	0,3
1,6 k	0,3
2 k	0,3
2,5 k	0,3
3,15 k	0,3
4 k	0,3
5 k	0,3
6,3 k	0,3
8 k	0,3
10 k	0,2

10.3 Theoretische Überlegungen

Grundsätzlich wird die Schalleistung einer schallabstrahlenden Außenwand wie auch für eine Öffnung nach folgender Gleichung bestimmt.

$$L_W(\Phi) = L_p - R + 10 \cdot \lg \frac{S}{1 \text{ m}^2} + C + \Delta L_\Phi$$

darin sind:

$L_W(\Phi)$ Schalleistungspegel des Außenbauteiles bzw.
einer Öffnung in Richtung Φ

L_p Schalldruckpegel im Inneren des Gebäudes bzw. Raumes

R Schalldämmmaß der Außenwand in dB

S Fläche der Außenwand in m^2

ΔL_Φ Richtwirkungskorrektur in dB

C Diffusionsterm in dB



Diese Bedingung sollte in beiden Richtungen Gültigkeit haben. Dabei ist zu beachten, dass bei Pegelmittelungen im Freien der Anteil der Richtwirkung außer Betracht bleiben kann. Der Diffusionsterm kann in Anlehnung an die Ergänzung der ÖAL-Richtlinie Nr. 28, Februar 2001, mit -3 dB abgeschätzt werden. Die in den Raum einwirkende Schalleistung ergibt sich aus der freien Lüftungsfläche und dem Schalldruckpegel vor dem Fenster, korrigiert um den Diffusionsterm. Andere Schallübertragungen bleiben unberücksichtigt, da aufgrund der hohen Schalldämmmaße der übrigen Außenbauteile kein Beitrag zum Messergebnis zu erwarten ist. Der Schalldruckpegel im Raum kann nach der Formel von Sabine (siehe z.B. EN 12343-6 Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen) unter Berücksichtigung der Nachhallzeit berechnet werden.

$$L_p = L_w - 10 \cdot \lg V + 10 \cdot \lg T + 14 \text{ dB}$$

darin sind:

- L_p mittlerer Schalldruckpegel im Raum in dB
- L_w Schalleistungspegel der Quelle, hier Öffnung in dB
- V Volumen des Raumes in m^3
- T Nachhallzeit im Raum

Wenn nun die theoretische Pegeldifferenz zwischen Freiem und Raum ermittelt werden sollen, so kann vereinfachend abgeschätzt werden:

$$\Delta L_p = 10 \cdot \lg S + C - 10 \cdot \lg V + 10 \cdot \lg T + 14 \text{ dB}$$

darin sind:

- S Fläche der Öffnung in m^2
- V Volumen des Raumes in m^3
- C Diffusionsterm in dB
- T Nachhallzeit im Raum
- ΔL_p Pegeldifferenz zwischen Freiem und Raum

Für den zur Vergleichsmessung herangezogenen Raum ergeben sich folgende Zahlenwerte:

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= 10 \cdot \lg S + C - 10 \cdot \lg V + 10 \cdot \lg T + 14 \text{ dB} = \\ &= 10 \cdot \lg(0,15 \cdot 1,1 \cdot 1,1) + (-3) - 10 \cdot \lg(3,7 \cdot 2,4 \cdot 2,5) + 10 \cdot \lg(0,4) + 14 \text{ dB} = -14 \text{ dB} \end{aligned}$$

Für den untersuchten Raum bedeutet dies, dass bei vollständigem Eintritt des einwirkenden Schalls eine Pegeldifferenz von 14 dB zwischen Freiem und im Raum bei gekipptem Fenster zu erwarten wäre.



10.4 Messergebnisse

In der folgenden Tabelle und den Abbildungen 12 und 13 sind die Ergebnisse für beide Versuchsanordnungen – „Flug“ und „Straße“ (vgl. Kap. 10.2) – dargestellt.

*Tabelle 12:
Ergebnisse der
Messung „gekipptes
Fenster“ als A-bewertete
Pegel in dB.*

Messung	Flug	Straße
vor der Fassade	88,6	90,5
im Raum Fenster offen	78,3	86,0
im Raum Fenster gekippt	71,9	76,5
Differenz offen – Fassade	-10,3	-4,5
Differenz gekippt – Fassade	-16,7	-14,0
Differenz offen – gekippt	-6,4	-9,5

Die Differenzen der Terzbandpegel sind in folgenden Diagrammen abgebildet:

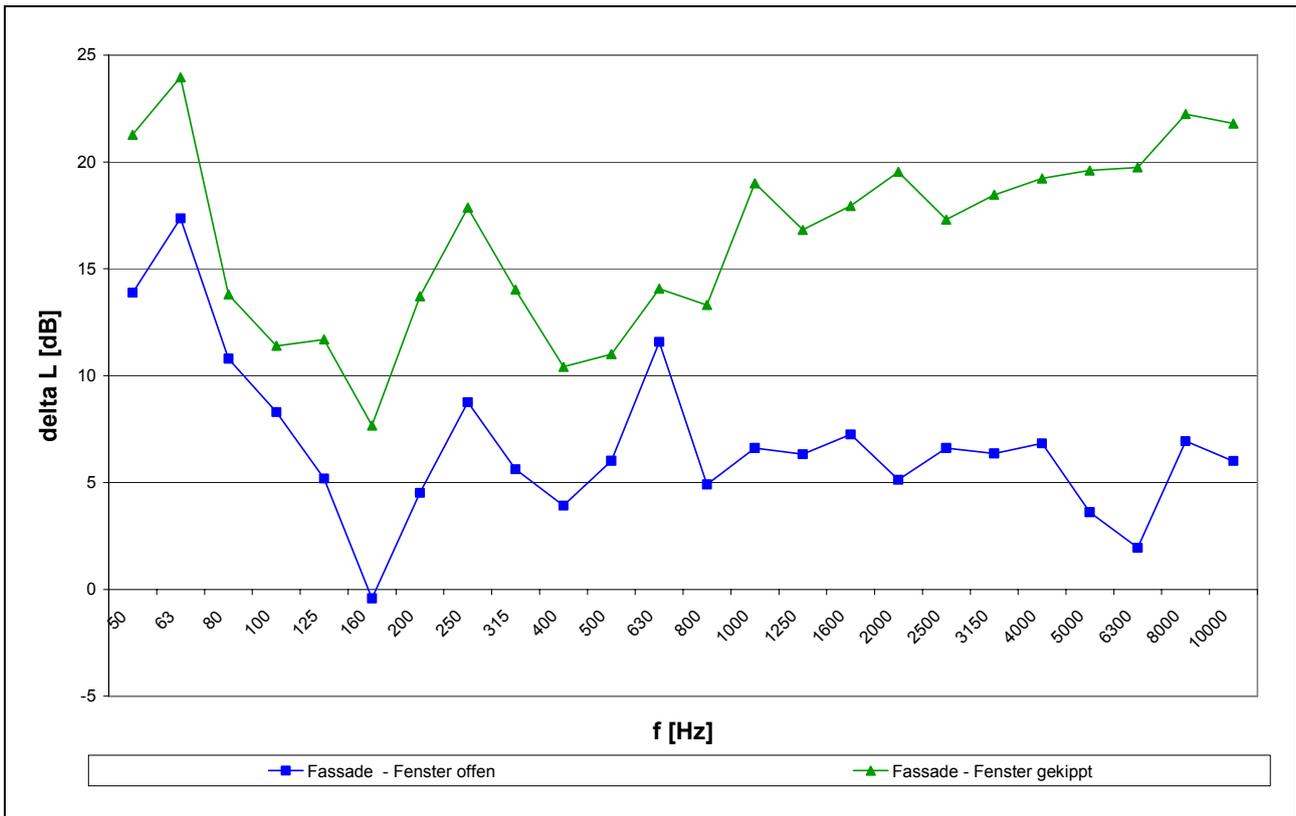


Abbildung 12: Differenz der Terzbandpegel bei der Anordnung „Flug“.

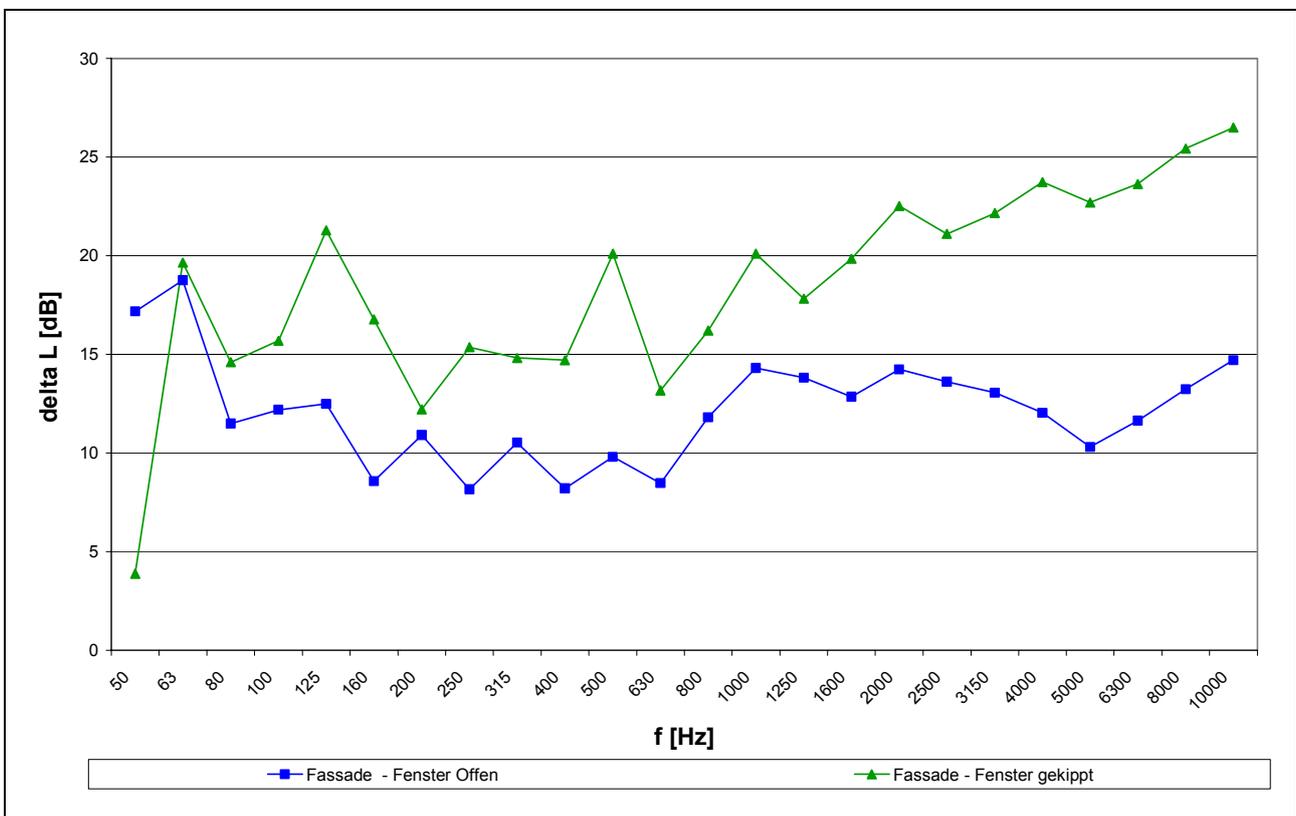


Abbildung 13: Differenz der Terzbandpegel bei der Anordnung „Straße“.

10.5 Interpretation der Ergebnisse

Der Vergleich der Messergebnisse zeigt für die Messanordnung Straße eine exakte Übereinstimmung mit dem Wert der theoretischen Überlegungen für die Pegeldifferenz zwischen der Messung vor der Fassade und der Messung im Raum bei gekipptem Fenster. Sowohl Messung wie auch Berechnung geben einen Wert von -14 dB aus. Damit kann für den zu den Vergleichszwecken ausgesuchten Raum die Annahme im Entwurfstext der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 voll bestätigt werden. Auch besteht Grund zur Annahme, dass für vergleichbare Räume die Pegeldifferenz zwischen Freiem und Raum bei gekipptem Fenster durch die Berechnungsformel in den theoretischen Überlegungen hinlänglich genau beschrieben ist. Wesentlich dabei ist, dass der Raum wie jener der Versuchsdurchführung entsprechend bedämpft ist. Nur in diesem Fall entspricht auch der Diffusionsterm dem Wert -3 dB. Des Weiteren ist zu beachten, dass diese Zusammenhänge nur für an der Fensterfläche annähernd normal auftreffenden Schall gültig sind. In der vielfach geführten Diskussion, wie hoch die Pegeldifferenz bei gekipptem Fenster wirklich ist, zeigt die Vergleichsmessung, dass die theoretische Ableitung durchaus auch praxistauglich ist und das oftmalige Feilschen um die quasi richtigen Zahlenwerte völlig unnötig ist.

Wie zu erwarten war hat die Pegeldifferenz zwischen Freiem und Raum bei gekipptem Fenster für von oben einwirkenden Schall einen höheren Zahlenwert. Hier wird offensichtlich der erforderliche zusätzliche Schallumweg bei der Leibung wirksam. Messtechnisch liegt der Zahlenwert mit 17 dB um 3 dB höher als bei der Anordnung des normal einfallenden Schalls. Dieser Wert liegt durchaus innerhalb der in der Literatur genannten Breite von Annahmen. Jedenfalls zeigt sich, dass für kleine Räume und normaler akustischer Bedämpfung der in der Mediation beim Flughafen Wien Schwechat generalisierte Wert von 15 dB eine durchaus realistische Annahme ist.

Allgemein ist festzuhalten, dass größere Räume bei vergleichbaren offenen Querschnitten höhere Pegeldifferenzen zu erwarten haben. Bei gleichen Raumhöhen und an der Bodenfläche gemessenen Lüftungsflächenanteilen bleibt der Zahlenwert der Pegeldifferenz konstant. Ungünstigere Annahmen für Räume, im Speziellen für Schlafräume, sind zwar denkbar, aber im Sinne der raumklimatisch notwendigen Lüftung nicht unbedingt anzunehmen. Auf Basis der durchgeführten Vergleichsmessungen ist eine generalisierte Annahme für die Pegeldifferenz zwischen Freiem und Raum bei gekipptem Fenster von 15 dB sehr gut argumentierbar.



11 SCHALLTECHNISCHE GRUNDLAGEN

11.1 Literaturhinweise

ÖNORM S 5004: Messung der Schallimmission, Ausgabe März 1998.

ÖNORM EN 20140-2: Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Teil 2: Angabe von Genauigkeitsanforderungen, Ausgabe 1. August 1993.

ISO 5725-1: 1994-12-15: 'Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1: General principles and definitions' – inklusive COR 1998.

UMWELTBUNDESAMT (1996): Ergebnisse von Vergleichsmessungen der Schallimmissionen durch den Straßenverkehr und durch einen Betrieb. Berichte, Bd. BE-069. Umweltbundesamt, Wien. Juli 1996.

UMWELTBUNDESAMT (2002): Ringversuch für bauakustische Messungen. Berichte, Bd. BE-207. Umweltbundesamt, Wien. Mai 2002.

UMWELTBUNDESAMT (2005): Ringversuch Messung der Schallimmission 2005. Berichte, Bd. BE-276. Umweltbundesamt, Wien.

ÖAL-Richtlinie Nr. 28: Schallabstrahlung und Schallausbreitung, Ausgabe Dezember 1987 inkl. Ergänzung Februar 2001.

11.2 Begriffsbestimmungen

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.

Basispegel ($L_{A,95}$):

der in 95 % der Messzeit überschrittene A-bewertete, mit der Anzeigedynamik „schnell“ ermittelte Schalldruckpegel der Schallpegelhäufigkeitsverteilung eines beliebigen Geräusches.

Mittlerer Spitzenpegel ($L_{A,1}$):

der in 1 % der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel.

Nachhallzeit (T):

Die Nachhallzeit ist die Zeit in s, in der nach Abschalten der Schallquelle der Schallpegel im Raum um 60 dB abnimmt.

Terzbandpegel:

unbewertet in den einzelnen Terzbändern gemessener Schalldruckpegel.