
Project Acoustic 2

Andreas Karl

**Schalleistungsmessung
der Schalleistungsquelle
B&K 4205**

Mittweida, 2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Diagrammverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis	IV
Formelverzeichnis	IV
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen.....	2
2.1 Schalleistung	2
2.2 Hüllflächenverfahren nach DIN EN ISO 3744:2011-02.....	3
3 Messablauf.....	6
3.1 Messung mit Breitbandrauschen im Haus 10	7
3.1 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 10	8
3.1 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 39	8
4 Messergebnisse	9
4.1 Messung mit Breitbandrauschen im Haus 10	9
4.2 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 10	9
4.3 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 39	10
4.4 Vergleich der Messdaten	11
4.5 Kalibrierung der Schalleistungsquelle	12
5 Verbesserungsvorschläge.....	13
5.1 Kalibrierung der Schalleistungsquelle	13
5.2 Umgebungskorrektur im TV Studio.....	13
5.3 Normgerechtes Messen.....	13
6 Fazit	14
Literaturverzeichnis	XXIV
Selbstständigkeitserklärung	XXV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: An eine Reflektierende ebene angrenzender Bezugsquader	3
Abbildung 2: Beispiel einer zylinderförmigen Messfläche.....	4
Abbildung 3: Brüel und Kjaer 4205.....	6
Abbildung 4: HP 1001 auf dem Drehteller	7
Abbildung 5: Mikrofon mit Stativ	7

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Haus 10 Raum 002 ohne Umgebungskorrektur.....	9
Diagramm 2: Haus 10 Raum 002 mit Umgebungskorrektur.....	9
Diagramm 3: Haus 39 TV Studio ohne Umgebungskorrektur	10
Diagramm 4: Haus 39 TV Studio mit Umgebungskorrektur.....	10
Diagramm 5: Vergleich der Werte mit Umgebungskorrektur	11
Diagramm 6: Abweichung vom Sollwert.....	11
Diagramm 7: Kalibrierung der Schalleistungsquelle	12

Formelverzeichnis

I Schalleistungspegel.....	2
II Fremdgeräuschkorrektur	3
III Umgebungskorrektur.....	3
IV Mittelwert aller Mikrofonpositionen.....	5
V Mittelwert aller Mikrofonpositionen unterschiedlicher Größe.....	5
VI Zeitlich gemittelter Messflächen - Schalldruckpegel	5
VII Schalleistungspegel	5

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

P_{ak}	Schalleistung
W	Schallenergie
L_W	Schalleistungspegel
P_0	Bezugsschalleistung
I	Intensität
A	Äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raumes
p	Schalldruck
v	Schallschnelle
K_1	Fremdgeräuschkorrektur
K_2	Umgebungskorrektur
L_p	Zeitlich gemittelter Messflächen - Schalldruckpegel
S	Flächeninhalt der Messfläche
$\overline{L'_{p(st)}}$	Mittelwert aller Mikrofonpositionen
N_M	Anzahl der Mikrofonpositionen, der einzelnen Mikrofonbahnen
$\overline{L_p}$	Zeitlich gemittelter Messflächen - Schalldruckpegel

1 Einleitung

Üblicherweise werden Schalleistungsmessungen mittels dem Hüllflächen- oder dem Intensitätsverfahren durchgeführt. Diese Verfahren können allerdings unter gewissen Umständen nur schwer angewandt werden und sind in der Regel zeitintensiv in ihrer Durchführung.

Da es in manchen Fällen von Nöten ist die Schalleistung eines Objekts unkompliziert und schnell ermitteln zu können, gibt es Methoden, um mit Hilfe einer Bezugsschallquelle die Schalleistung eines Objekts zu ermitteln.

Die Hochschule Mittweida ist im Besitz einer solchen Schallquelle des Typs Brüel und Kjaer 4205, welche hauptsächlich zur anschaulichen Wissensvermittlung in Praktika Anwendung findet.

Die Aufgabe des Projekts bestand darin, mit Hilfe der Bezugsschallquelle die Vor- bzw. Nachteile des Hüllflächenverfahrens zu ermitteln. Weiterhin sollten auch der Einfluss der Umgebung, sowie der Effekt, welchen die Gewählte Hüllkurve und der Messabstand auf das Messergebnis hat, ausgewertet werden.

Außerdem war es Teil der Aufgabe, die Messergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität und Genauigkeit zu analysieren und untereinander zu vergleichen, um daraus Schlussfolgerungen zur Optimierung der Messungen zu ziehen.

Zur übersichtlichen Darstellung der Ergebnisse sollte ferner auch ein Forschungsposter erstellt werden.

Dieser Bericht beschreibt die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung mehrerer Schalleistungsmessungen mittels dem Hüllflächenverfahren nach der DIN EN ISO 3744. Alle Messungen wurden zur Vergleichbarkeit an der Schalleistungsquelle Brüel und Kjaer 4205 durchgeführt.

Weiterhin werden die Messungen verglichen und auf ihre Plausibilität überprüft.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Schalleistung

Die Schalleistung P_{ak} beschreibt, die pro Zeit von einer Schallquelle abgestrahlte Schallenergie W und ihre Einheit ist Watt. In der Akustik ist es jedoch üblich, dass mit dem Schalleistungspegel L_W gearbeitet wird, welcher sich auf die Bezugsschalleistung $P_0 = 10^{-12}W$ bezieht.

Die Schalleistung ist die Größe der Wahl für eine Quellenbeschreibung bei akustischen Planungen, da sie die Schallquelle unabhängig von der Umgebung und anderen äußeren Einflüssen beschreibt.

Schalleistungspegel:¹
$$L_W = 10 \lg \left(\frac{P_{ak}}{P_0} \right) \quad |$$

Zur Messung der Schalleistung einer bestimmten Schallquelle stehen mehrere Messmethoden zur Verfügung, welche je nach Messanforderung, der Art des zu Messenden Objekts und der Messumgebung ausgewählt werden.

Die gängigsten Methoden zur Schalleistungsmessung sind das Hüllflächenverfahren, das Hallraumverfahren und das Schallintensitätsverfahren, welche nach verschiedenen Anforderungen in unterschiedlichen DIN-Normen beschrieben werden.

Des Weiteren gibt es noch das Substitutionsverfahren und das Juxtapositionsverfahren, welche mit Hilfe einer Bezugsschallquelle durchgeführt werden können. Bis jetzt wurden diese Verfahren allerdings noch keiner Normung unterzogen.

¹ Skript „Grundlagen Akustik“ S.68

2.2 Hüllflächenverfahren nach DIN EN ISO 3744:2011-02

Das Hüllflächenverfahren nach DIN EN ISO 3744:2011-02 beschreibt Verfahren um Schalleistungs- und auch Schallenergiepegel von Geräuschquellen für die Genauigkeitsklasse 2 zu ermitteln, für den Fall, dass ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene die Messumgebung bildet.

Schalleistungs- und Schallenergiepegel werden bei diesen Verfahren aus Schalldruckpegeln errechnet. Die Messpunkte, an welchen der Schalldruck ermittelt wird, liegen auf einer gedachten Hüllfläche um das Messobjekt, wobei jedem Messpunkt eine Teilfläche der Hüllfläche zugeordnet wird.

Für die Ausführung einer Messung nach DIN EN ISO 3744:2011-02 ist es zunächst notwendig zu prüfen, ob eine geeignete Messumgebung zur Verfügung steht. Grundsätzlich können Messungen in geschlossenen Räumen aber auch im Freien ausgeführt werden, wobei sich das Messobjekt aber auf einer reflektierenden Ebene befinden muss, über der sich ein freies Schallfeld ausbilden kann. Weiterhin ist zu beachten, dass die Messumgebung ausreichenden Schutz gegen Fremdgeräusche und andere Störeinflüsse wie beispielsweise Wind oder elektromagnetische Felder bietet, welche die Messung beeinträchtigen. Außerdem muss bei einem Messraum die Umgebungskorrektur K_2 anwendbar sein.

Um die Einflüsse von Störgeräuschen und Raum auszugleichen, sind die Fremdgeräuschkorrektur K_1 und die Umgebungskorrektur K_2 in der Norm beschrieben.

$$\text{Fremdgeräuschkorrektur:}^2 \quad K_1 = -10 \lg(1 - 10^{-0,1\Delta L_p}) \text{ dB} \quad \text{II}$$

$$\text{Umgebungskorrektur:}^3 \quad K_2 = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right] \text{ dB} \quad \text{III}$$

Die Geräuschquelle wird so auf der reflektierenden Ebene platziert, wie es für ihren eigentlichen Nutzungszweck vorgesehen ist. Reflektierende Gegenstände, Wände und Decke müssen ausreichenden Abstand zur Geräuschquelle besitzen.

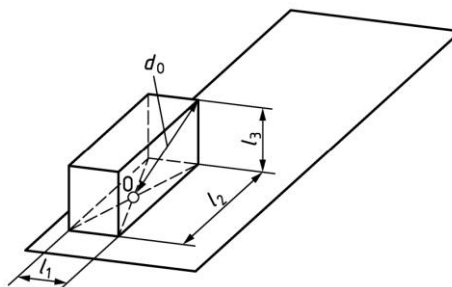


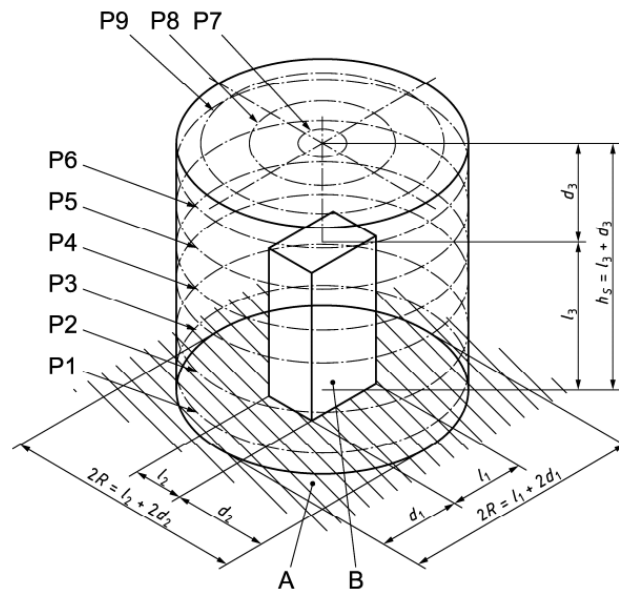
Abbildung 1: An eine reflektierende Ebene angrenzender Bezugsquader⁴

²[DIN EN ISO 3744, 2011] S.17

³[DIN EN ISO 3744, 2011] S.40

⁴[DIN EN ISO 3744, 2011] S.21

Zur leichteren Auswahl der Messfläche wird zuerst ein Bezugsquader festgelegt, welcher dem kleinsten gedachten Quader entspricht, der das Messobjekt gerade umschließt. Abstehende Bauteile, welche keinen wesentlichen Beitrag zur Schallabstrahlung nehmen, dürfen vom Bezugsquader ausgeschlossen bleiben.



⁵Abbildung 2: Beispiel einer zylinderförmigen Messfläche sowie einer Mikrofonanordnung mit sechs Mikrofonbahnen auf der Seitenfläche und drei auf der oberen Fläche

Die Auswahl einer geeigneten Messfläche wird anhand der Form und der Abstrahlcharakteristik des Messobjekts getroffen. Die Messfläche umschließt den Bezugsquader komplett und der Abstand der Mikrofone Messobjekt sollte möglichst gleich sein. Die zur Verfügung stehenden Hüllflächenformen sind eine Halb-, Viertel- oder Achtelkugel, ein Zylinder, Halb- oder Viertelzylinder und ein Quader oder eine Kombination von zwei Abschnitten. Die Größe der Hüllfläche, sowie Menge und Anordnung der Mikrofone ist in den Anhängen der DIN EN ISO 3744 geregelt.

⁵[DIN EN ISO 3744, 2011] S.63

Wird mit einer Messfläche gearbeitet, deren Mikrofonposition jeweils gleich große Messflächenabschnitte zugeordnet sind, kann mit der Gleichung (II) aus den zeitlich gemittelten Schalldruckpegeln, welche an den Messpositionen gemessen wurden, der Mittelwert $\overline{L'_{p(ST)}}$ über alle Mikrofonpositionen errechnet werden.

$$\text{Mittelwert aller Mikrofonpos.:}^6 \quad \overline{L'_{p(ST)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1L'_{pi}(ST)} \right] \text{ dB} \quad \text{II}$$

Sind die Teilflächen der Messfläche unterschiedlich groß wird $\overline{L'_{p(ST)}}$ folgendermaßen berechnet:

Mittelwert aller Mikrofonpositionen unterschiedlicher Größe:⁷

$$\overline{L'_{p(ST)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{S} \sum_{i=1}^{N_M} S_i \times 10^{0,1L'_{pi}(ST)} \right] \text{ dB} \quad \text{III}$$

Der Mittelwert des zeitlich gemittelten Schalldrucks wird in der Gleichung (IV) durch K_1 und K_2 korrigiert:

Zeitlich gemittelter Messflächen – Schalldruckpegel:⁸

$$\overline{L_p} = \overline{L'_{p(ST)}} - K_1 - K_2 \quad \text{IV}$$

Der Schalleistungspegel ergibt sich aus Gleichung (V):

$$\text{Schalleistungspegel:}^9 \quad L_W = \overline{L_p} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB} \quad \text{V}$$

⁶[DIN EN ISO 3744, 2011] S.27

⁷[DIN EN ISO 3744, 2011] S.28

⁸[DIN EN ISO 3744, 2011] S.29

⁹[DIN EN ISO 3744, 2011] S.30

3 Messablauf

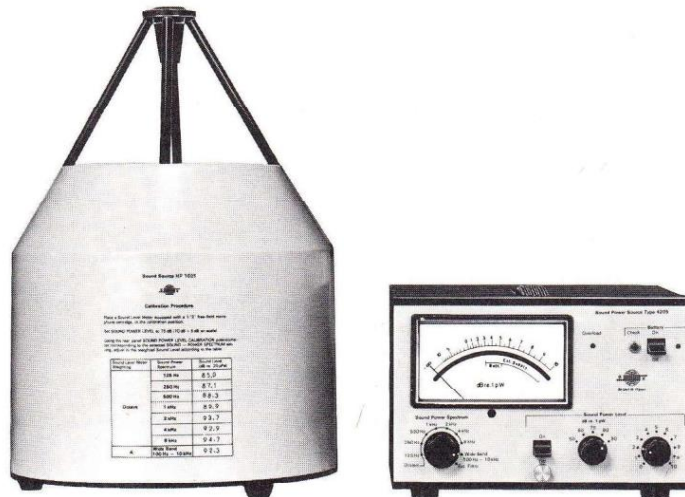
Es wurden drei Messungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, um sie nach den in der Aufgabenstellung geforderten Punkten zu vergleichen. Dabei wurde versucht die DIN EN ISO 3744 einzuhalten. Bei jeder Messung wurde der Zylinder als Messfläche genutzt.

Bei dem für die Messungen benutzte Messgerät handelte es sich jeweils um den Audio- und Akustik-Analysator XL2 der Firma NTi. Das daran über ein XLR Kabel angeschlossene Mikrophon war ein M4260 Messmikrofon, Klasse 2 nach IEC 61672-1. Hierbei ist anzumerken, dass die DIN EN ISO 3744 aber den IEC 61672-1:2002 Standard der Klasse 1 fordert. Ein Messmikrofon dieser Klassifizierung stand nicht zur Verfügung.

Vor und nach jeder Messung wurde das Messmikrofon kalibriert mit einem Kalibrator der Cirrius.

Das Messmikrofon wurde mit Hilfe eines Stativs an den jeweiligen Messpunkten platziert.

Um zu gewährleisten, dass immer mit einer definierten Schalleistung gemessen werden kann, wurde als Schallquelle für die Messungen die Schalleistungsquelle des Typs Brüel und Kjaer 4205 verwendet.



⁶Abbildung 3: Brüel und Kjaer 4205

Die Schalleistungsquelle, bestehend aus dem Schallsender HP 1001 und dem Generator, bietet die Möglichkeit zur Auswahl zwischen Breitband- oder Oktavbandrauschen zu wählen. Das Breitbandrauschen hat ein Spektrum von 100Hz bis 10kHz und für die Oktavmessung stehen Oktavbandrauschen mit den Mittenfrequenzen von 125Hz bis 8kHz zur Auswahl.

Die Schalleistung lässt sich über zwei Potentiometer im Bereich von 40dB bis 100dB einstellen.

⁶ [Handbuch Schalleistungsquelle 4025] S.1

Um die Messung zu erleichtern wurde für die Messungen jeweils ein Drehteller verwendet auf welchem sich der Schallsender befand. Dadurch war es möglich mit weniger Mikrofonpositionen zu arbeiten.

3.1 Messung mit Breitbandrauschen im Haus 10

Die Messung mit Breitbandrauschen wurde im Haus 10 Raum 002 der Hochschule Mittweida durchgeführt. Hierfür wurden zunächst die Raummaße ermittelt und die Nachhallzeiten gemessen.

Raummaße: Länge=8,6m Breite=4m Höhe=2,6m

Oktavband / Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nachhallzeit /s	0,49	0,53	0,49	0,46	0,33	0,38	0,31	0,31

Tabelle 1: Nachhallzeiten Haus 10 Raum 002

Die Schalleistungsquelle wurde mit Breitbandrauschen betrieben und auf eine Schalleistung von $L_W=85\text{dB}$ eingestellt.

Die zylindrische Messfläche wurde für diese Messung in 6 Mikrofonbahnen unterteilt 4 davon auf den Seitenflächen und 2 auf der oberen Zylinderfläche. Der Zylinder hatte einen Durchmesser von 2,4m und eine Höhe von 1,5m.

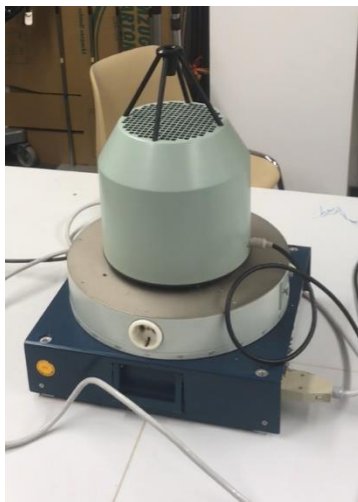


Abbildung 4: HP 1001 auf dem Drehteller



Abbildung 5: Mikrofon mit Stativ

Für die einzelnen Messungen wurde an jedem Messpunkt ein L_{eq} über einen Zeitraum von 10 Sekunden gemessen. Nach jedem Messpunkt wurde die Schallquelle um 45° gedreht, bis eine Drehung vollzogen war und dann zur nächsten Mikrofonbahn gewechselt.

3.2 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 10

Die Messung wurde wie die Breitbandmessung im Raum 002 durchgeführt.

Die Schallleistungsquelle wurde mit Oktavbandrauschen betrieben und auf eine Schallleistung von $L_W=95\text{dB}$ eingestellt.

Die zylindrische Messfläche wurde für diese Messung in 8 Mikrofonbahnen unterteilt 5 davon auf den Seitenflächen und 3 auf der oberen Zylinderfläche. Der Zylinder hatte einen Durchmesser von 1,7m und eine Höhe von 1,4m.

Für die Messungen wurde das Messmikrofon auf eine Messbahnhöhe eingestellt und dann über den Zeitraum einer Drehung des Drehtellers der L_{eq} ermittelt. So wurde auf jeder Messbahn verfahren.

3.3 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 39

Diese Messung wurde im Haus 39 der Hochschule Mittweida im TV Studio ausgeführt.

Die zylindrische Messfläche wurde für diese Messung in 8 Mikrofonbahnen unterteilt 5 davon auf den Seitenflächen und 3 auf der oberen Zylinderfläche. Der Zylinder hatte einen Durchmesser von 1,7m und eine Höhe von 1,4m.

Für die Messungen wurde das Messmikrofon auf eine Messbahnhöhe eingestellt und dann über den Zeitraum einer Drehung des Drehtellers der L_{eq} ermittelt. So wurde auf jeder Messbahn verfahren.

4 Messergebnisse

Die Messergebnisse wurden durch das Messgerät aufgezeichnet und anschließend mit Hilfe der Formeln aus dem Theorieteil in Excel ausgewertet.

4.1 Messung mit Breitbandrauschen im Haus 10

Die Auswertung der Messwerte ergab: $L_{WA} = 86,2$ dBA
 Der Sollwert für diese Messung wäre ein: $L_{WA} = 85$ dBA

4.2 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 10

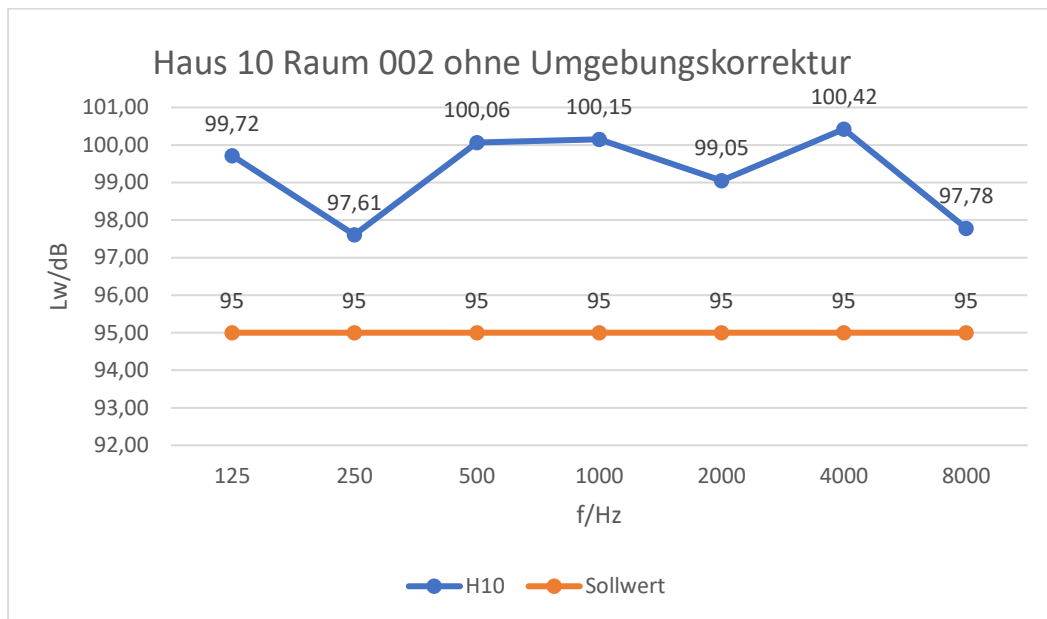


Diagramm 1: Haus 10 Raum 002 ohne Umgebungskorrektur

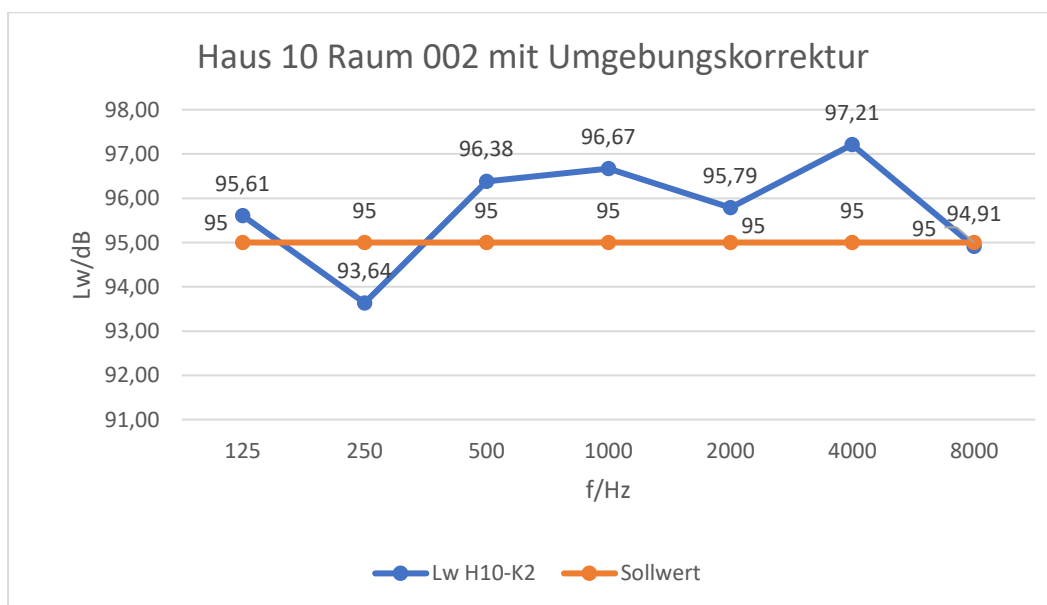


Diagramm 2: Haus 10 Raum 002 mit Umgebungskorrektur

4.3 Messung mit Oktavbandrauschen im Haus 39

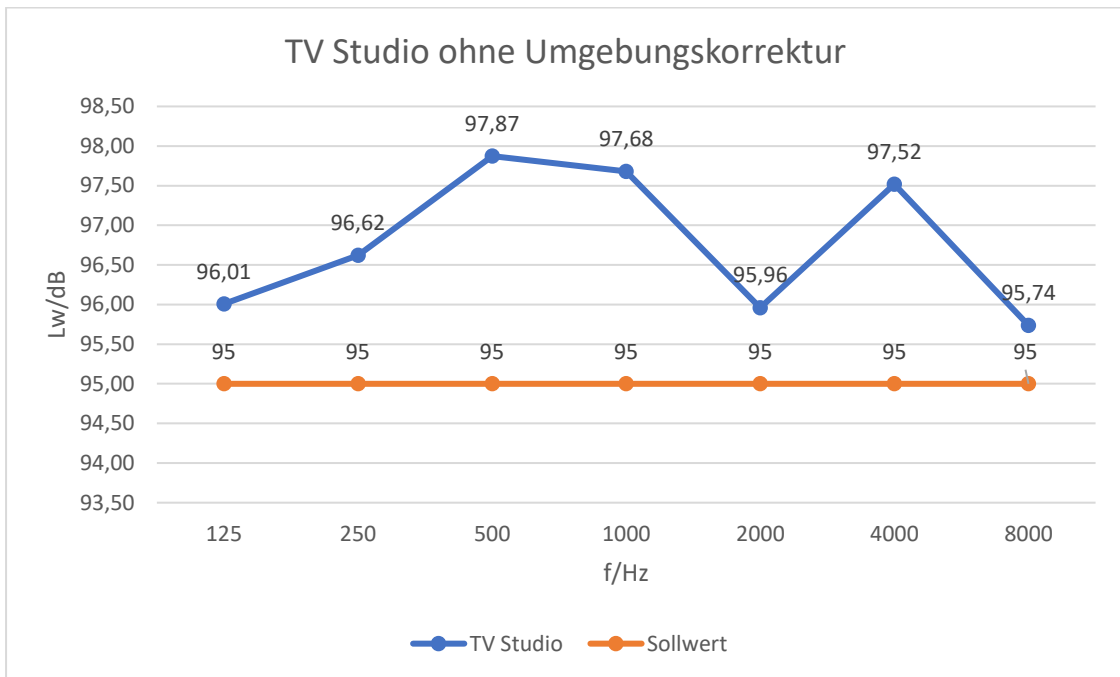


Diagramm 3: Haus 39 TV Studio ohne Umgebungskorrektur

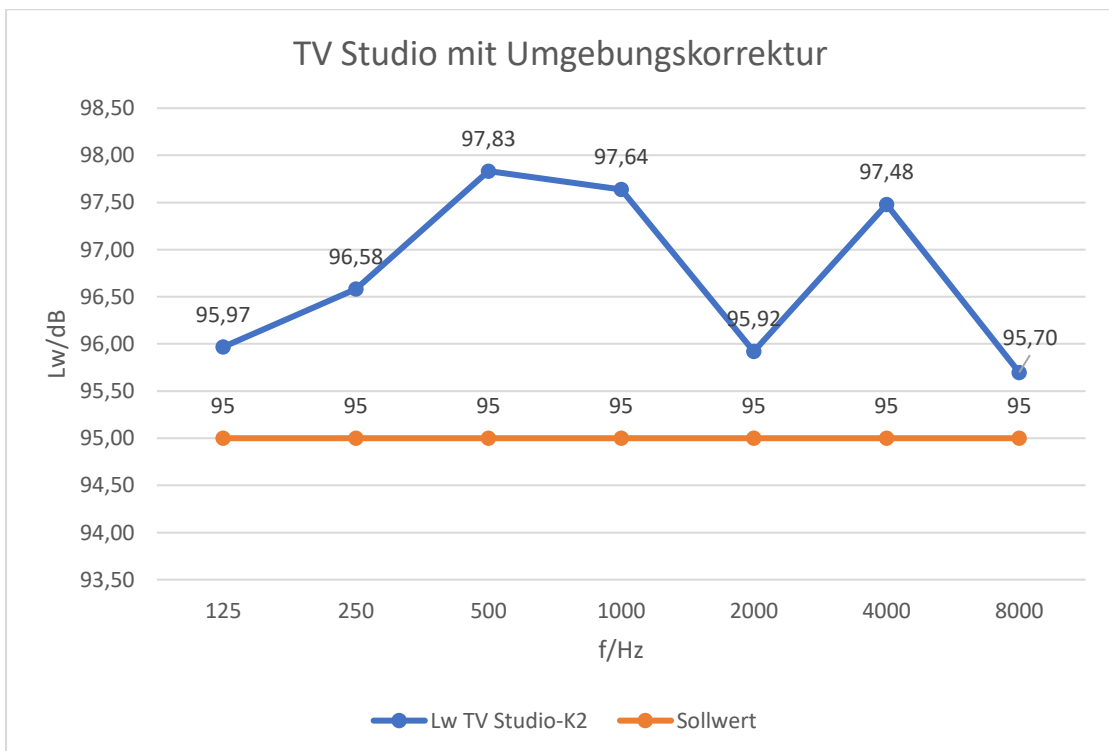


Diagramm 4: Haus 39 TV Studio mit Umgebungskorrektur

4.3 Vergleich der Messdaten

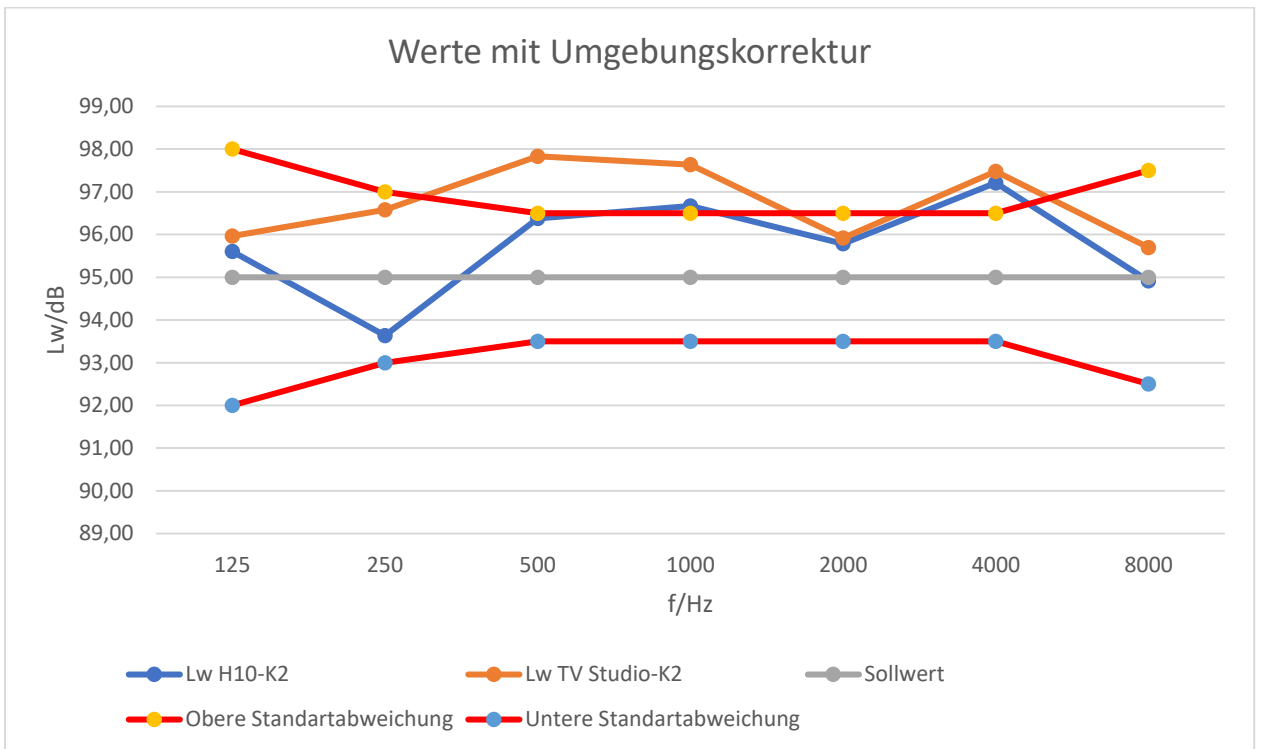


Diagramm 5: Vergleich der Werte mit Umgebungskorrektur

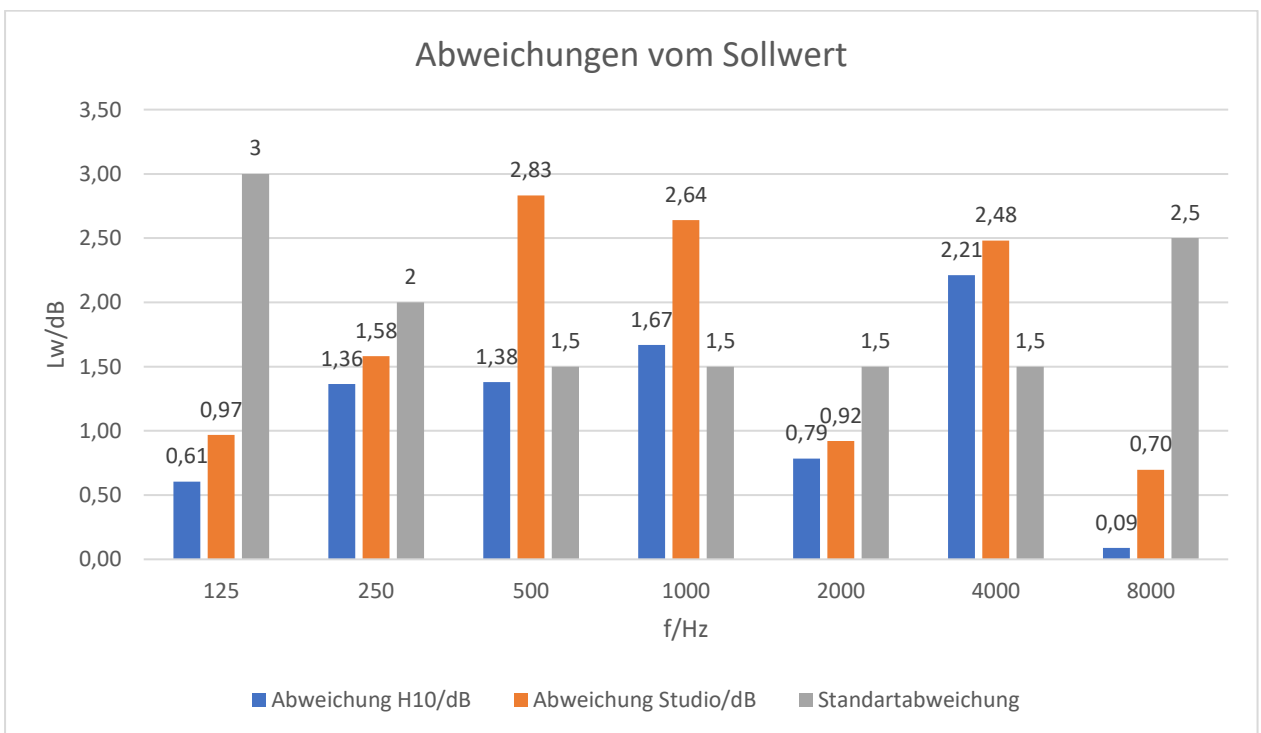


Diagramm 6: Abweichung vom Sollwert

4.4 Kalibrierung der Schalleistungsquelle

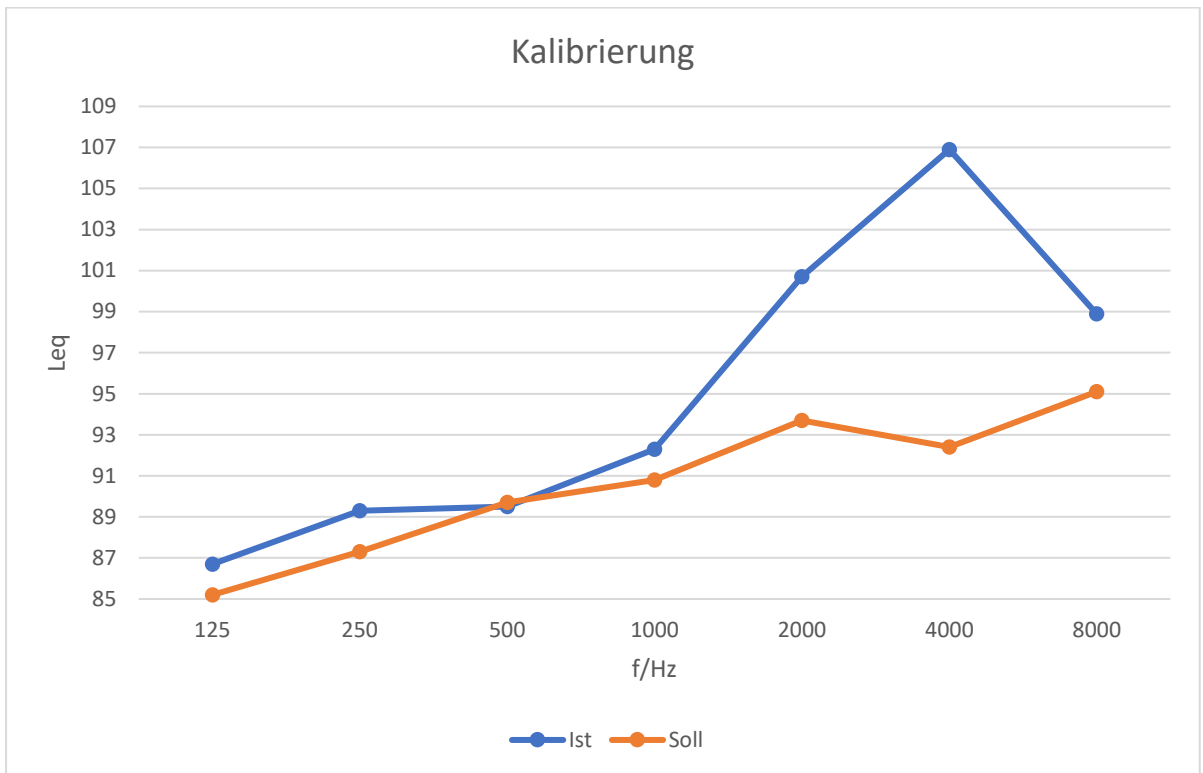


Diagramm 7: Kalibrierung der Schalleistungsquelle

5 Verbesserungsvorschläge

5.1 Kalibrierung der Schalleistungsquelle

Die Kalibrierung der Schalleistungsquelle wurde erst gegen Ende des Projekts hinterfragt und überprüft. Somit konnte leider kein Einfluss mehr darauf genommen werden. Alle Messungen sind durch die Fehlkalibrierung, welche in Diagramm 7 zu sehen ist, beeinflusst. Vor allem die Frequenzbänder 2kHz – 8kHz wurden dadurch beeinträchtigt.

5.2 Umgebungskorrektur im TV Studio

Für die Umgebungskorrektur im TV Studio stand nur die Nachhallzeit für das 1kHz Band zur Verfügung und wurde dann in der Umgebungskorrektur auf alle Bänder angewandt. Auch das Raumvolumen des TV Studios war nicht genau zu ermitteln und wurde nur grob ausgemessen.

Es ist davon auszugehen, dass diese Ungenauigkeiten das Endergebnis der Messung verfälschen.

5.3 Normgerechtes Messen

Um genauere Ergebnisse zu erzielen wäre es notwendig, die Norm in allen Punkten exakt zu erfüllen. Der Raum 002 im Haus 10 entspricht nicht den Anforderungen der Norm. Das Messmikrofon M4260 welches verwendet wurde hat nicht die richtige Klassifizierung. Als Hüllkurve wäre die Halbkugel laut Norm die Bessere Wahl für die Messung gewesen.

6 Fazit

Das Projekt hat für die Aufgabenstellung kaum nutzbare Ergebnisse geliefert. Durch die fehlkalibrierte Schalleistungsquelle ist es nicht möglich aus den Messungen konkrete Schlüsse auf den Einfluss des Raums zu ziehen. Es ist sehr verwunderlich, dass die Messergebnisse trotzdem sehr nahe an den Sollwert herangekommen sind.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN ISO 3744 (2011): Akustik – Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen
- [2] MÖSER (ED.) (2018): Messung der Schalleistung

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 28. Februar 2020

Andreas Karl