

---

# **Abschlussbericht**

## **Project Acoustics II**

---

Autoren

**Lucas Eckert**

**Jan Fischer**

**Daniel Schäfer**

**Maximilian Schönwald**

## **Akustische Optimierung von Arbeitsräumen**

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Jörn Hübelt

Mittweida, 2019

# Inhalt

INHALT	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	IV
LITERATURVERZEICHNIS	V
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
SYMBOLVERZEICHNIS	VIII
RAUMAKUSTISCHE OPTIMIERUNG STI: MEDIENFORUM MITTWEIDA	1
1 EINLEITUNG (SCHÄFER)	1
2 THEORIETEIL (SCHÄFER)	2
2.1 <b>Speech Transmission Index</b>	2
2.1.1 STIPA	3
2.2 <b>Methodenteil (Schönwald)</b>	5
2.2.1 Optimierung STI „Medienforum“ Haus 39	5
2.2.2 STIPA Messaufbau	5
2.2.3 Subjektive Geräuschbeurteilung	10
2.2.4 Fazit Subjektive Geräuschbeurteilung	15
3 EINSATZ VON EASE ZUR PLANUNG DER RECRUITMENT-LOUNGE (ECKERT)	16
3.1 <b>Ziel des Projektteils</b>	16
3.2 <b>Theoretische Betrachtungen</b>	16
3.3 <b>Aufbau des EASE Modells</b>	20

<b>3.4</b>	<b>Fazit</b>	<b>25</b>
<b>3.5</b>	<b>Abbildungen</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>PROREKTORAT (FISCHER)</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Messbericht</b>	<b>34</b>
4.1.1	Verwendete Messausrüstung	34
4.1.2	Messbedingungen	34
4.1.3	Messverfahren	34
4.1.4	Messergebnisse	35
4.1.5	Interpretation der Ergebnisse	37
4.1.6	Fazit	39
<b>4.2</b>	<b>Praktische Vorschläge</b>	<b>40</b>
4.2.1	Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung	41
4.2.2	Zimmer 2: Büro Herr Baumgart	42
4.2.3	Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung	43
<b>5</b>	<b>ANHANG</b>	<b>45</b>
<b>5.1</b>	<b>Prorektorat</b>	<b>45</b>
5.1.1	Auswertung der Nachhallzeiten mit und ohne Absorber	45
5.1.2	Messwerte der Räume	60
5.1.3	Berechnung der Äquivalenten Absorptionsflächen	61
5.1.4	Messdaten der Absorber	66

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2.1:</b> Bildung der Modulationsübertragungsfunktion (DIN EN ISO 60268, S. 16)	2
<b>Abbildung 3.1</b> Blick auf die simulierte Recruitment-Lounge	16
<b>Abbildung 3.2</b> Drahtgittermodell des Hauses 39 der Hochschule Mittweida	20
<b>Abbildung 3.3</b> Blick in die 2. und einen Teil der 3. Etage von Norden.	22
<b>Abbildung 3.4</b> Optimize RT mit dem Absorptionsverlauf von AK12-L-AB (oben)	26
<b>Abbildung 3.5</b> Nachhallzeit nach Eyring	27
<b>Abbildung 3.6</b> Messpunkte im Haus	28
<b>Abbildung 3.7</b> Mapping des Gesamtschalldruckpegels	29
<b>Abbildung 3.8</b> Mapping des STI	30
<b>Abbildung 3.9</b> Mapping des STI-PA	31
<b>Abbildung 3.10</b> Mapping des Direktschallpegels	32
<b>Abbildung 3.11</b> Zusatzvolumen unterhalb der 2. Etage	33
<b>Abbildung 4.1:</b> Zimmer 1 Büro Prorektorat Forschung	35
<b>Abbildung 4.2:</b> Zimmer 2: Büro Herr Baumgart	36
<b>Abbildung 4.3:</b> Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung	37
<b>Abbildung 4.4:</b> Toleranzbereich der Nachhallzeit T in Abhängigkeit von der Frequenz für die Nutzungsarten A1 bis A4 (DIN 18041:2016-03 S.14)	40
<b>Abbildung 4.5:</b> Nachhallzeit in Zimmer 1 mit 12 m <sup>2</sup> Renz BKA, 80mm	42
<b>Abbildung 4.6:</b> Nachhallzeit in Zimmer 2 mit 10m <sup>2</sup> Decampo 47mm	43
<b>Abbildung 4.7:</b> Nachhallzeit in Zimmer 3 mit 13 m <sup>2</sup> Renz BKA, 80mm	44

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom STI	3
<b>Tabelle 2:</b> STIPA Modulationsfrequenzen	4
<b>Tabelle 3.1</b> <i>Zusammenhang zwischen STI, Alcons , und der Norm</i>	17
<b>Tabelle 3:</b> Absorptionswerte nach Frequenzen	41

## Literaturverzeichnis

- Vorländer 1989 Vorländer, Michael (1989): "Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm". In Journal of the Acoustical Society of America Nr. 86 (S.172). AIP Publishings.
- EASE 2000 Hrsg. ADA (2000): Tutorial für EASE 4.0. URL: [http://www.afmg-support.de/SoftwareDownloadBase/AFMG/EASE/ease\\_tutoritu\\_deutsch.pdf](http://www.afmg-support.de/SoftwareDownloadBase/AFMG/EASE/ease_tutoritu_deutsch.pdf) [Zugriff: 14.04.2018]
- Ahnert 1/2008 Ahnert, Wolfgang (2008). Raumakustik. In Weinzierl, Stefan (Hrsg.). Handbuch der Audiotechnik (S.181-266). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Ahnert 2/2008 Ahnert, Wolfgang (2008). Beschallungstechnik, Beschallungsplanung und Simulation. In Weinzierl, Stefan (Hrsg.). Handbuch der Audiotechnik (S.491-550). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Fuchs 2017 Fuchs, H.V. (2017). Raum-Akustik und Lärm-Minderung: Konzepte mit innovativen Schallabsorbern und -dämpfern (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Eckert 2018 Eckert, L.; Metzler, A. & Schumacher, K. (2018). EASE-Modellierung der Philharmonie Dresden, - 2018. - x, 24, 13 S. Mittweida, Hochschule Mittweida - University of Applied Science, Fakultät Medien, Belegarbeit.
- Lorenz-Kierakiewitz 2016 Lorenz-Kierakiewitz, K.-H. (2016). Werteänderungen von Indikatoren der Sprachverständlichkeit in nicht-muttersprachlichem Kontext. DAGA 2016, Aachen. Vortrag. [https://www.peutz.de/sites/peutz.de/files/publicaties/Peutz\\_KHL\\_DAGA\\_2016\\_20160331\\_def.pdf](https://www.peutz.de/sites/peutz.de/files/publicaties/Peutz_KHL_DAGA_2016_20160331_def.pdf) [Zugriff: 15.02.2019]
- Struchholz 2010 Struchholz, H. (2010): Planung eines Aufführungsraums für Orgelkonzerte. Masterarbeit. S.25ff, URL: [https://www2.ak.tu-berlin.de/~akgroup/ak\\_pub/abschlussarbeiten/2010/StruchholzHolger\\_MasA.pdf](https://www2.ak.tu-berlin.de/~akgroup/ak_pub/abschlussarbeiten/2010/StruchholzHolger_MasA.pdf) [Zugriff: 09.08.2018]
- DIN 18041:2015-02 Hörsamkeit in Räumen - Vorgaben und Hinweise für die Planung
- DIN 3382-2:2008 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen.
- DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen- Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung.
- ASR A3.7 Lärm, (2018) Technische Regeln für Arbeitsstätten, Ausgabe: Mai 2018, in: Gemeinschaftliches Ministerialblatt vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (GMBI 2018, S.456).
- Produktproschüre Renz-Solution Produktbroschüre Akustiksysteme, Stand: Februar 2019

- DIN EN 60268-16:2012-05 Elektroakustische Geräte – Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2011)
- Möll, Thorsten (2007): Messung und Wirkung von Markenemotionen: Neuromarketing als neuer verhaltenswissenschaftlicher Ansatz, Berlin: Springer Verlag

# Abkürzungsverzeichnis

z.B.	zum Beispiel
Abb.	Abbildung
S.	Seite
EASE	Enhanced Acoustical Simulator for Engineers
AURA	Analysis Utility for Room Acoustics
AFMG	Ahnert-Feistel Media Group
Hrsg.	Herausgeber
DIN	Deutsche Industrie Norm
EN	Europäische Norm
ISO	International Organisation for Standardization
RWTH	Rheinisch-Westfälische Hochschule Aachen
STI	Speech Transmission Index
RaSTI	Rapid Speech Transmission Index
STI-PA	Speech Transmission Index for Public Address Systems
CIS	Common Intelligibility Scale
SNR	Signal-Rausch Verhältnis



# Symbolverzeichnis

$Al_{\text{cons}}$	Articulation loss of consonants
s	Sekunden
ms	Millisekunden
m	Meter
mm	Millimeter
cm	Centimeter
dB	Dezibel
Hz	Hertz
%	Prozent
$T$	Nachhallzeit
RT60	Nachhallzeit
$r_H$	Hallradius
$s$	Abstand
$V$	Volumen
$E$	Energie
°	Grad
$\alpha$	Absorptionsgrad
$L_{Aeq}$	Mittlerer A-bewerteter Schalldruckpegel
$C_{50}$	Deutlichkeitsmaß
$\bar{T}_{60}$	mittlere Nachhallzeit
$T_{60,max}$	maximale Nachhallzeit

# Raumakustische Optimierung STI: Medienforum Mittweida

## 1 Einleitung (SCHÄFER)

Das Medienforum Mittweida ist eine jährliche Veranstaltung, zu der Dozenten, Firmen und Agenturen aus unterschiedlichen Fachbereichen der Medienbranche eingeladen werden. An zwei Tagen finden im Haus 39 Vorträge, Meet & Greets und Workshops statt, in denen den Studenten der Medienfakultät der Hochschule Mittweida Inhalte aus der Welt der Medien nähergebracht werden sollen. Ein elementarer Bestandteil des Medienforums ist die Recruiting Lounge, bei der sich Studenten mit Vertretern der Medienbranche unterhalten können, Interviews für Praktika und Stellenausschreibungen führen und sich Orientierung über die verschiedenen Bereiche verschaffen können.

Die Recruiting Lounge wird traditionell im zweiten Stock des Gebäudes ausgerichtet. Das Haus 39 bietet als offen gestalteter Betonbau eine vorwiegend schallharte Klangkulisse, die bei einer vielbesuchten Veranstaltung wie dem Medienforum akustische Problematiken aufweist. Die vergleichsweise hohe Nachhallzeit bewirkt bei großer Schalleinwirkung einen hohen Umgebungsgeräuschpegel. Die lauten Nebengeräusche stellen eine Herausforderung dar, wenn es darum gehen soll, den Teilnehmern der Recruiting Lounge eine angenehme Gesprächssituation zu gewährleisten. Um die lokale Akustik zu verbessern, werden akustische Trennwände der Firma Preform als Kabinen aufgestellt, in denen sich die Gesprächspartner an Tischen in entspannter Atmosphäre unterhalten können. Die Trennwände weisen einen hohen Absorptionsgrad auf und verringern den Störgeräuschpegel innerhalb der Kabinen.

Um die bestmögliche Gesprächsqualität für die Beteiligten zu erreichen, soll die spezielle akustische Situation der Recruiting Lounge genauer analysiert werden. Hierzu wird als maßgebliche Vergleichsgröße der *Speech Transmission Index*, kurz STI, herangezogen (vgl. Probst 2018, S. 1). In der Situation vor Ort wurden verschiedene Stellkonstellationen der Trennwände realisiert und mittels STI bewertet. Auftretende Unterschiede wurden gemessen und dokumentiert, mit dem Ziel, mögliche Verbesserungen rechtzeitig zum Medienforum 2018 umzusetzen.

In dem vorliegenden Bericht sollen die getroffenen Maßnahmen beschrieben und evaluiert werden. Hierzu wird die Stellkonstellation der Recruiting Lounge aus dem Vorjahr mit der aktuellen Konstellation von 2018 verglichen. Dabei sollen die Messwerte durch eine zum Medienforum erhobene Umfrage zusätzlich validiert werden. In der Umfrage wurden die subjektiven Eindrücke der Teilnehmer der Recruiting Lounge erfasst.

## 2 Theorieteil (SCHÄFER)

### 2.1 Speech Transmission Index

Der Sprachübertragungsindex (en: Speech Transmission Index, STI) ist ein objektives Maß um die Sprachübertragungsqualität in einer Situation anzugeben. Er basiert auf der Annahme, dass die Schwankungen bei Sprachsignalen den größten Beitrag zur Verständlichkeit leisten. Das heißt zum Sprachverständnis tragen vor allem Modulationen in der Sprache, Pausen zwischen Wörtern und Sätzen, sowie Silben, bei. Diese Intensitätsschwankungen, auch Modulationen genannt, zeichnen sich in der Einhüllenden der Intensitätskurve ab (vgl. DIN EN 60268, S. 14). So können Sprachsignal und Empfängersignal verglichen werden. Je mehr der Modulationsgrad auf dem Übertragungsweg sinkt, was meist durch Störgeräusche oder ungünstige Reflexionen zustande kommt, desto schlechter wird die Sprachverständlichkeit beim Empfänger. Aus dem Verfahren resultiert ein Einzahlwert zwischen 0 und 1, mit dem die Sprachübertragungsqualität eindeutig angegeben werden kann.

Der STI kann über zwei Verfahren bestimmt werden: Die indirekte Methode über die Raumimpulsantwort und Schröder-Gleichung, sowie die direkte Methode. Die Messung des STI über das direkte Verfahren erfolgt über ein normiertes Prüfsignal. Dabei werden 7 Oktavbänder mit je 14 Modulationsfrequenzen moduliert. Daraus ergeben sich 98 Modulationsindizes, die nacheinander abgespielt werden. Aus Eingangs- und Ausgangsfunktion wird für jedes einzelne Signal die Modulationsübertragungsfunktion gebildet (vgl. DIN EN 60268, S. 17).

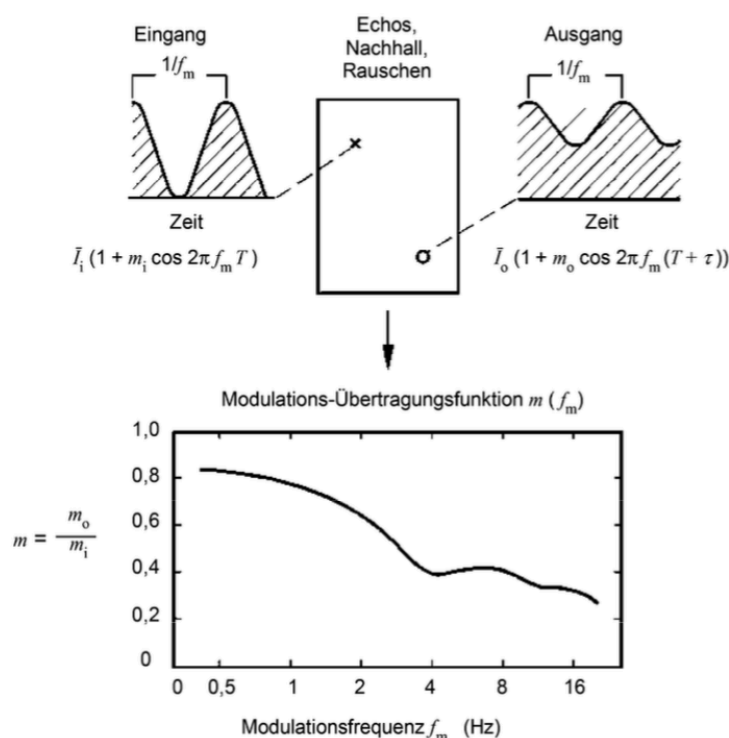


Abbildung 2.1: Bildung der Modulationsübertragungsfunktion (DIN EN ISO 60268, S. 16)

Anschließend werden die Modulationsübertragungswerte für jedes Oktavband und jede Modulationsfrequenz in ein effektives Signal-Rausch Verhältnis (kurz: SNR) umgewandelt, aus dem ein Übertragungsindex gebildet wird. Aus dem Übertragungsindex wird durch Mittelung über die Modulationsfrequenzen ein Übertragungsindex pro Oktavband bestimmt. Im Anschluss wird letztendlich der STI als Einzahlwert aus den Übertragungsindizes pro Oktavband ermittelt, nachdem eine Frequenzbewertung und ein Redundanzfaktor eingerechnet wurden.

Der Einzahlwert wird auf der sogenannten Common Intelligibility Scale (kurz: CIS) verzeichnet. Somit kann die Sprachverständlichkeit klar eingeschätzt werden.

**Tabelle 1:** Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom STI

Wertebereich STI	Sprachverständlichkeit
0,75 bis 1,00	Sehr gut
0,60 bis 0,75	Gut
0,45 bis 0,60	Befriedigend
0,30 bis 0,45	Schlecht
0,00 bis 0,30	Sehr schlecht

(Probst 2018, S. 1; DIN EN ISO 9921, S. 25)

Durch die einzelne Wiedergabe und Auswertung der Prüfsignale mit einer Messzeit von 10 Sekunden pro Signal ergibt sich die Gesamtzeit von etwa 16 Minuten für eine vollständige STI Messung. Dies stellt eine zeitliche Herausforderung dar, wenn viele Messpositionen zur Bestimmung einer räumlichen Situation gewünscht sind. Als zeitsparende Alternative bietet sich hier das STIPA Verfahren an.

### 2.1.1 STIPA

Das STIPA (en: Speech Transmission Index for Public Adress Systems) Prüfsignal ist eine Vereinfachung des vollständigen STI Prüfsignals. Hierzu werden die unkorrelierten Modulationen zur Interpretation nichtlinearer Verzerrungen weggelassen. Pro Oktavband werden nur noch zwei Modulationsfrequenzen verwendet. Die entstehenden 14 Prüfsignale können simultan wiedergegeben und ausgewertet werden. Eine STIPA Messung dauert so nur zwischen 15 und 20 Sekunden. Damit erweist sich das STIPA Verfahren als wesentlich zeitsparender, wenn viele Messstandorte erwünscht sind und nichtlineare Verzerrungen bei der gewünschten Anwendung keine Rolle spielen (vgl. DIN EN 60268, S. 48).

**Tabelle 2:** STIPA Modulationsfrequenzen

<b>Oktavband Hz</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>8000</b>
<b>Erste Modulationsfrequenz Hz</b>	1,60	1,00	0,63	2,00	1,25	0,80	2,50
<b>Zweite Modulationsfrequenz Hz</b>	8,00	5,00	3,15	10,0	6,25	4,00	12,5

[DIN EN 60268, S. 48]

Das STIPA Verfahren ist nur für das männliche Sprachspektrum validiert. Die raumakustische Bedeutung von Verfahren, die zwischen männlichem und weiblichem Anregungsspektrum differenzieren, ist allerdings zweifelhaft (vgl. Ahnert, Tennhardt 2009, S. 196). Um in der vorliegenden Situation ein anschauliches Vergleichskriterium zu schaffen spielt dies also keine Rolle.

## 2.2 Methodenteil (Schönwald)

### 2.2.1 Optimierung STI „Medienforum“ Haus 39

#### 2.2.2 STIPA Messaufbau

Bevor man einen ersten Eindruck bekommt, welche Werte der STI innerhalb und den umliegenden Kabinen bei unterschiedlichen Stellvarianten annimmt, wird zunächst der Messaufbau einer vereinfachten STIPA Messung beschrieben.

Für die Recruiting Lounge STIPA Messung ist folgendes verwendet worden:

- NTI Audio XL 2 M4260 Akustikanalyzer
- 1/4 Zoll Messmikrofon M4261 NTI Audio mit Diffusfeld Kalibrierung



- NTI Audio MR Pro Minirator Signalgenerator



- RCF ART Aktiv – Lautsprecher



Nach DIN EN ISO 60268 muss die Schallquelle auf der Achse des entsprechenden Mikrofons in der entsprechenden Sprecherposition / dem entsprechenden Sprecherabstand aufgestellt und in die übliche Sprechrichtung gerichtet werden. Hier darf ein Lautsprecher als Schallquelle benutzt werden. (Vgl. DIN EN ISO 60268, S.28).

Die Lautsprecher- und Mikrofonposition wurde mit einem Abstand von 1,20 Meter über dem Boden gewählt. Dies entspricht der Positionshöhe des menschlichen Ohres beim Sitzen. Der Abstand des Messmikrofons wurde mit einem Abstand von 1 Meter zum Lautsprecher gewählt und entspricht der Entfernung von miteinander sprechenden Menschen an einem Tisch. Nach einer Grundrauschen Messung wurde ein Signal-Rauschabstand Wert von mindestens 30 dB gewählt. Eingepegelt wurde dementsprechend auf 73 dB(A).

### STI Messung Auswertung

Gemessen wurde an unterschiedlichen Lautsprecher- und Mikrofonpositionen. Ebenfalls wurden unterschiedliche Stellvarianten der Preform – Wände aufgestellt, um jeweils vergleichende STI Werte zu ermitteln. Beide Kabinenreihen sind um circa 1 Meter voneinander versetzt worden. In folgendem Fall ergeben sich optimale Werte bei einem möglichst hohen STI Wert in einer Kabine mit Lautsprecher und möglichst niedrigen STI Werten in den umliegenden Kabinen.

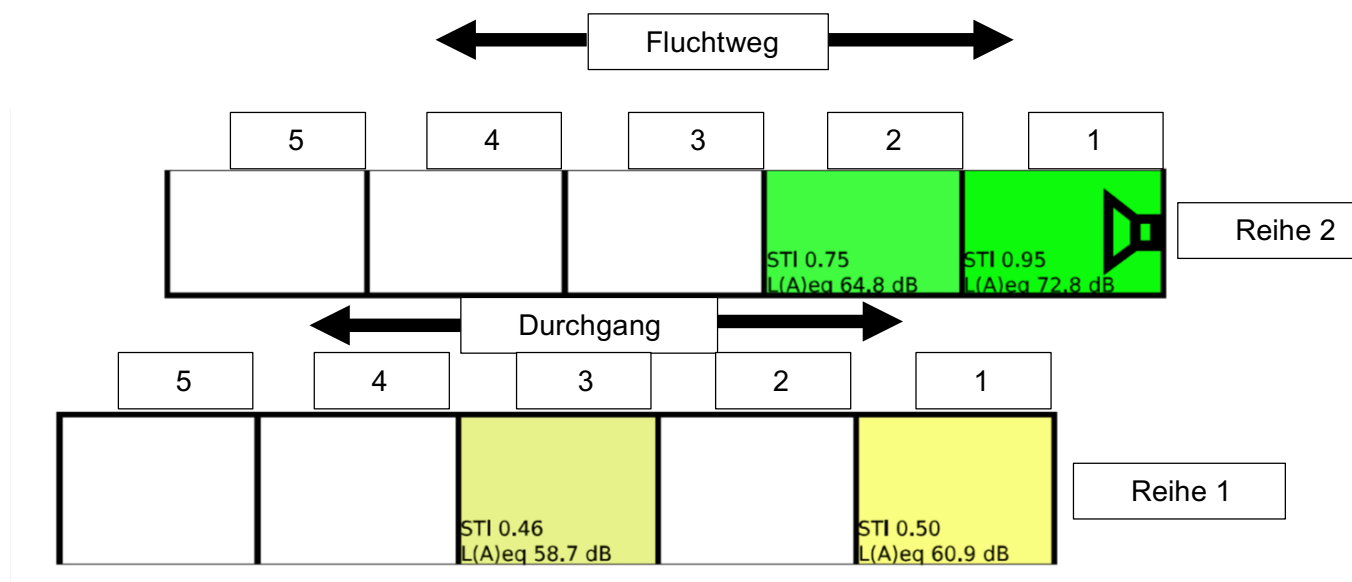


Abb.1: Stellvariante 1 – geschlossen, geschlossen

In Abbildung 1 wird die Stellvariante 1 gezeigt. Sie ist auf beiden Seiten zum Durchgang mit den Preform Stellwänden geschlossen. Der Lautsprecher wurde in der Reihe 2 / Kabine 1 positioniert. Hier zeigt sich eine hohe Sprechverständlichkeit mit der dahinter liegenden Kabine bei einem Spitzenwert von 0.95. Mittelmäßige Messergebnisse der Sprechverständlichkeit wurden in Reihe 1 / Kabine 1 und 3 festgestellt. Spitzenwerte liegen hier bei 0.50

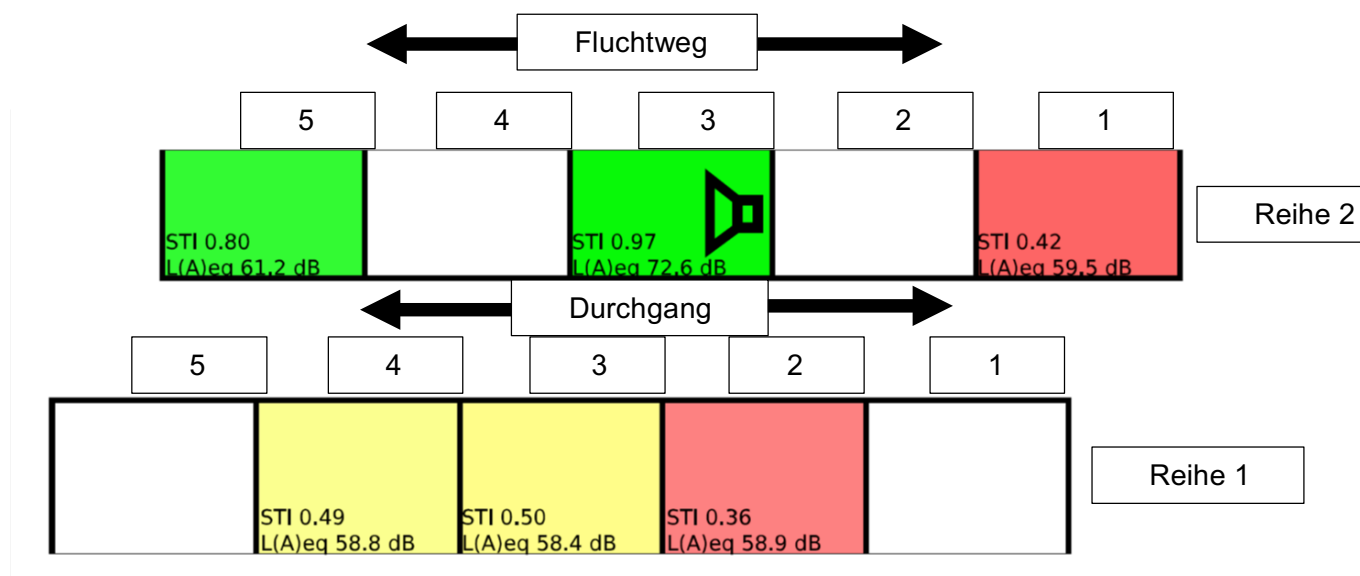


Abb.2: Stellvariante 1 – geschlossen, geschlossen

Bei einer anderen Lautsprecherposition in Reihe 2 / Kabine 3 ergibt sich eine sehr gute Sprechverständlichkeit innerhalb der Kabine und ein guter Wert in der umliegenden Kabine 5 bei gleicher Abstrahlrichtung des Lautsprechers. Ein sehr schlechter STI Wert wird hinter dem Lautsprecher in Kabine 1 mit einem Wert von 0.42 gemessen. In Reihe 1 lassen sich ebenfalls niedrige bis sehr niedrige STI Werte von 0.36 bis 0.50 messen.



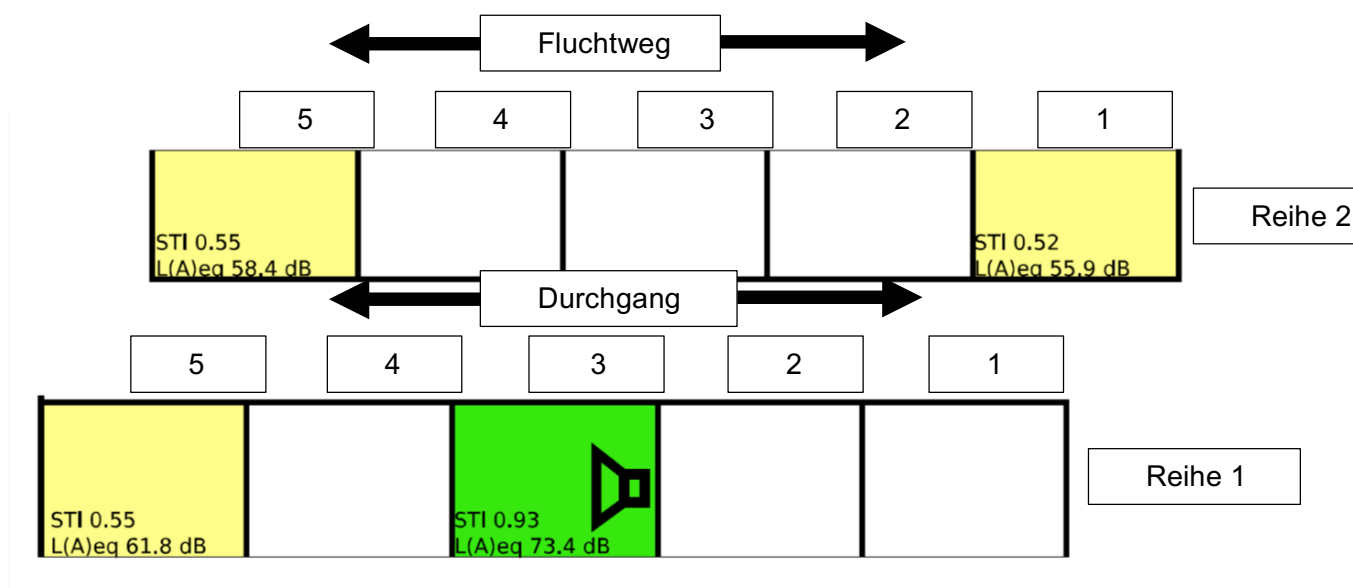


Abb.3: Stellvariante 1 – geschlossen, geschlossen

Auch bei der Lautsprecherposition in Reihe 1 / Kabine 3 lässt sich eine sehr gute Sprechverständlichkeit innerhalb der Kabine messen, während mittelmäßige STI Werte in Reihe 1 / Kabine 5 und Reihe 2 / Kabine 1,2 bei etwa 0.55 gemessen wurden.

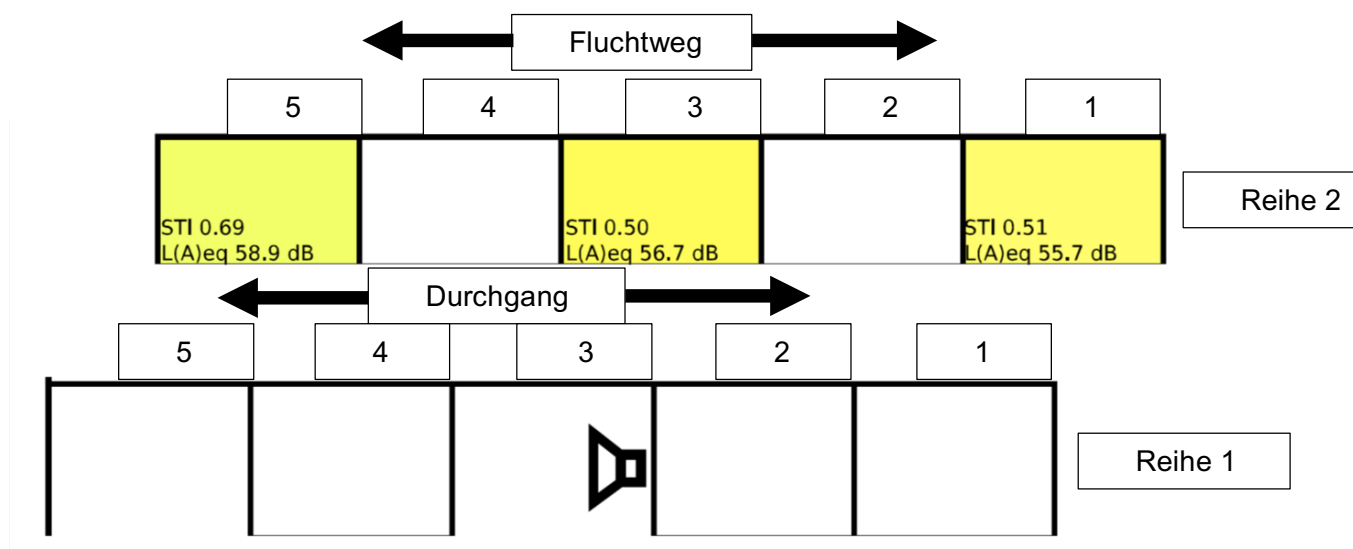


Abb.4: Stellvariante 2 – geschlossen, offen

In der Stellvariante 2 blieb die Seite zum Durchgang bei Kabinenreihe 2 offen, während Reihe 1 zum Durchgang geschlossen war. An Lautsprecherposition bei Reihe 1 / Kabine 3 wurden in Reihe 2 bei Kabinenposition 1, 3 und 5 mittelmäßige STI Werte von durchschnittlich 0.50 gemessen.

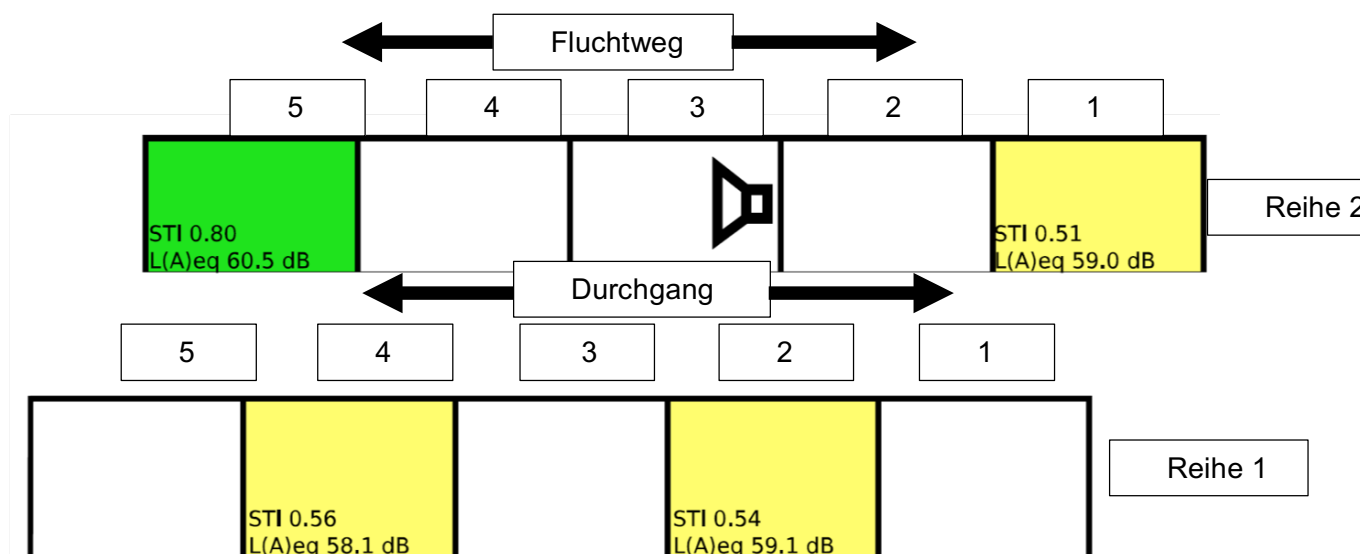


Abb.5: Stellvariante 2 – geschlossen, offen

Bei Lautsprecherposition Reihe 2 / Kabine 3 haben sich gute Sprechverständlichkeitswerte bei Kabine 5 messen lassen, während sich mittelmäßige STI Werte in den umliegenden Kabinen von durchschnittlich 0.54 feststellen lassen.

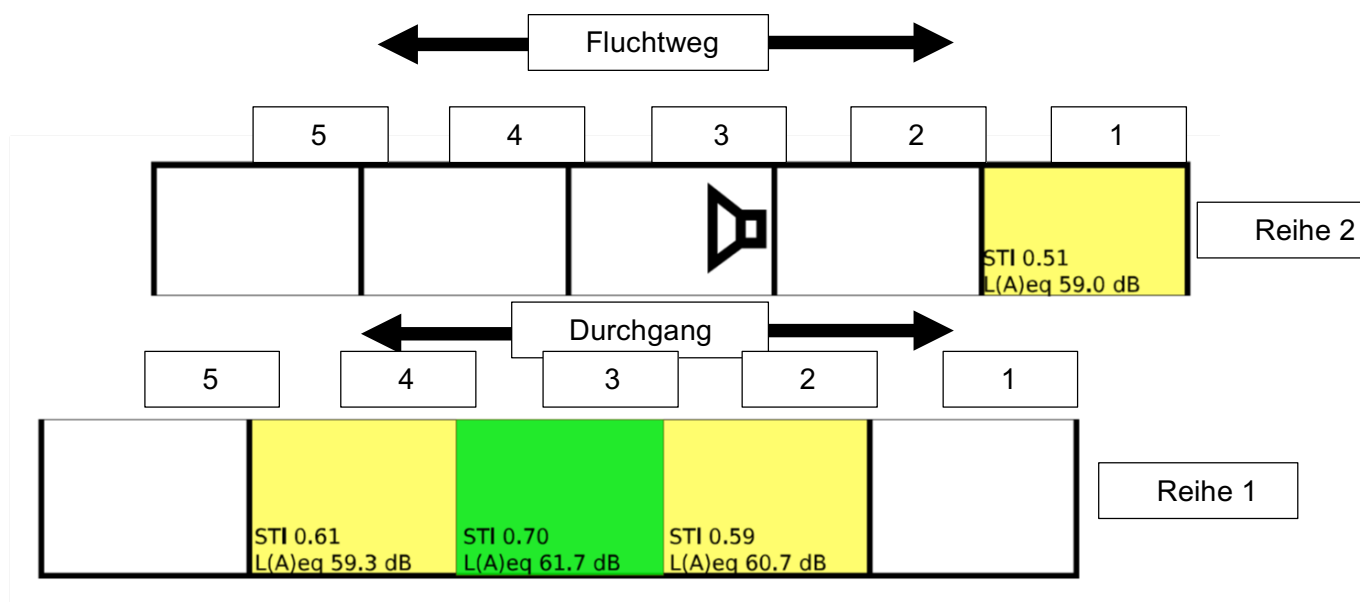


Abb.6: Stellvariante 3 – offen, offen

Die an beiden Seiten des Durchganges offene Variante weist an der Lautsprecherposition bei Reihe 2 auf der gegenüberliegenden Reihe 1 einen guten STI Wert von 0.70 auf. In den umliegenden Kabinen ist der STI Wert ebenfalls höher als bei den geschlossenen Systemen.

### **Fazit STI Messung**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Stellvariante 1 die optimalsten Messwerte aufweist. Verglichen mit Stellvariante 2 ergeben sich bei Variante 1 in den umliegenden Kabinen schlechtere STI Werte. Als Beispiel kann die Lautsprecherposition in Reihe 2 / Kabine 3 angeführt werden. Dort haben sich in Reihe 2 und Kabine 1 STI Werte von 0.42 messen lassen, was bedeutet, dass sie eine sehr schlechte Sprechverständlichkeit aufweisen. Ebenfalls lassen sich sehr schlechte STI Werte in Reihe 1 / Kabine 2 messen.

Bei anderen Lautsprecherpositionen lassen sich ähnliche, wenn auch nicht ganz so extreme Feststellungen treffen. Als weiteres Beispiel kann die Lautsprecherposition in Reihe 1 / Kabine 3 genannt werden. Stellvariante 1 weist einen STI Wert von 0.55 auf, während bei Stellvariante 2 ein Wert von 0.69 gemessen wurde. Das bedeutet eine wesentlich höhere Sprechverständlichkeit, weshalb die Stellvariante 1 hier präferiert wird.

Der relativ hohe STI Wert bei Reihe 2 / Kabine 5 mit der Lautsprecherposition Reihe 2 / Kabine 3 deutet auf mögliche Reflexionen aufgrund der schallharten Decke und Wand hin. Verglichen mit allen anderen Varianten weist Stellvariante 1 die akustisch optimalsten Werte auf, weshalb diese beim Medienforum für die Recruiting Lounge verwendet wurde.

### **2.2.3 Subjektive Geräuschbeurteilung**

Die ausgewählte Stellvariante der Wände soll an der subjektiven Geräuschqualität innerhalb der Kabinen beurteilt werden. Zu einer weiteren Beurteilung der Geräuschqualität wurde mit der Methode des „Semantischen Differentials“ gemessen. Teilnehmer und Bewerber, die sich in den Recruitment Lounges aufgehalten haben wurden nach der subjektiv empfundenen Gesprächssituation innerhalb der Kabinen befragt. Im Folgenden wird das Verfahren der Messmethode des „Semantischen Differentials“ erläutert.

## Semantisches Differential

Das semantische Verfahren ist ein von Charles E. Osgood in der Einstellungsforschung entwickeltes Verfahren, das zur quantitativen Analyse der subjektiven Bedeutung von Begriffen dient. Es ist eine Datenerhebungsmethode und erfasst die assoziative Bedeutung von Begriffen und dient dazu, Emotionen in unterschiedlichen Kontexten zu ermitteln. Im Grunde genommen werden Probanden nach einer Einordnung von bestimmten Meinungsgegenständen und relevanten Begriffen gebeten. Im aktuellen Fall des Medienforums ist eine 5-stufige Einordnungsskala gewählt worden mit jeweils gegensätzlichen Adjektivpaaren, wie zum Beispiel laut-leise oder hallig-trocken. Hierbei ist ein Instruieren der Probanden von relevanter Bedeutung, weil ausgewählte Adjektive eventuell nicht verstanden oder falsch eingeordnet werden können. Nach dem Befragen der Versuchsteilnehmer zeichnet man die Mittelwerte der Einordnungsskala ein, um ein Polaritätsprofil zu erhalten. Der Vergleich der unterschiedlichen Meinungsgegenstände kann nun realisiert werden.

(Möll, 2007, Messung und Wirkung von Markenemotionen: Neuromarketing als neuer verhaltenswissenschaftlicher Ansatz)

Ein Fragebogen wurde zur Datenaufnahme erstellt. 7 Adjektivpaare sind neben einer Grafik, die die Recruiting Lounge darstellt, aufgelistet. Die Probanden sollten jeweils ankreuzen, in welcher Kabine sie sich aufgehalten haben. Am Tag 1 wurden 60 Fragebögen beantwortet. Am Tag 2 wurden 26 Bögen abgegeben und bearbeitet.

**Gesprächssituation**

leise						laut
diffus						konzentriert
trocken						hallig
verschwommen						klar
öffentlich						privat

**Schall aus den umliegenden Kabinen**

wahrnehmbar						nicht wahrnehmbar
-------------	--	--	--	--	--	-------------------

**Hintergrundgeräusch**

schwach						stark
---------	--	--	--	--	--	-------



Abb.7: Fragebogen zur Beurteilung der Geräuschsituation Recruiting Lounge / Medienforum 2018

### 3.2.2 Auswertung Semantisches Differential

Im weiteren Verlauf soll die Datenerhebung durch subjektive Befragungen mit der Methode des semantischen Differentials ausgewertet werden.

Zuerst wird die Auswertung nach Tagen präsentiert:

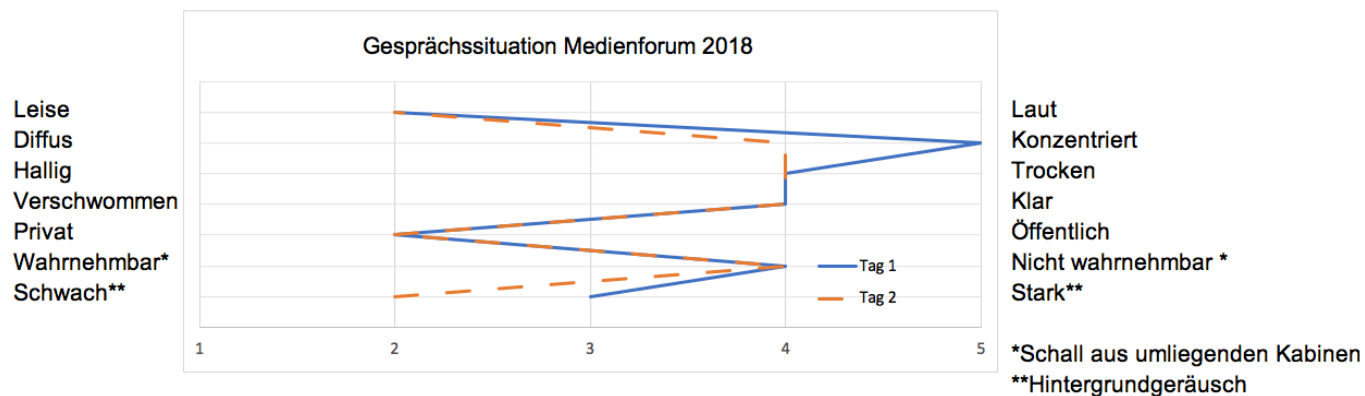


Abb.8: Verlauf des Semantischen Differentials für beide Tage, Tag 1,2 / Recruiting Lounge, gemittelt (Median) über alle Versuchspersonen.

Allgemein lässt sich zusammenfassen, dass beide Tage einen ähnlichen Verlauf in der Gesprächssituation aufzeigen. Die Situation wurde als eher leiser notiert. Der Klangeindruck wurde allgemein als eher trocken und klar festgehalten. Man fühlte sich in einer eher privaten Gesprächssituation und Schall aus umliegenden Kabinen wurde eher nicht wahrgenommen. An Tag 1 war der Klangeindruck etwas konzentrierter als an Tag 2. Das Hintergrundgeräuschpegel war an Tag 1 jedoch etwas lauter als an Tag 2.

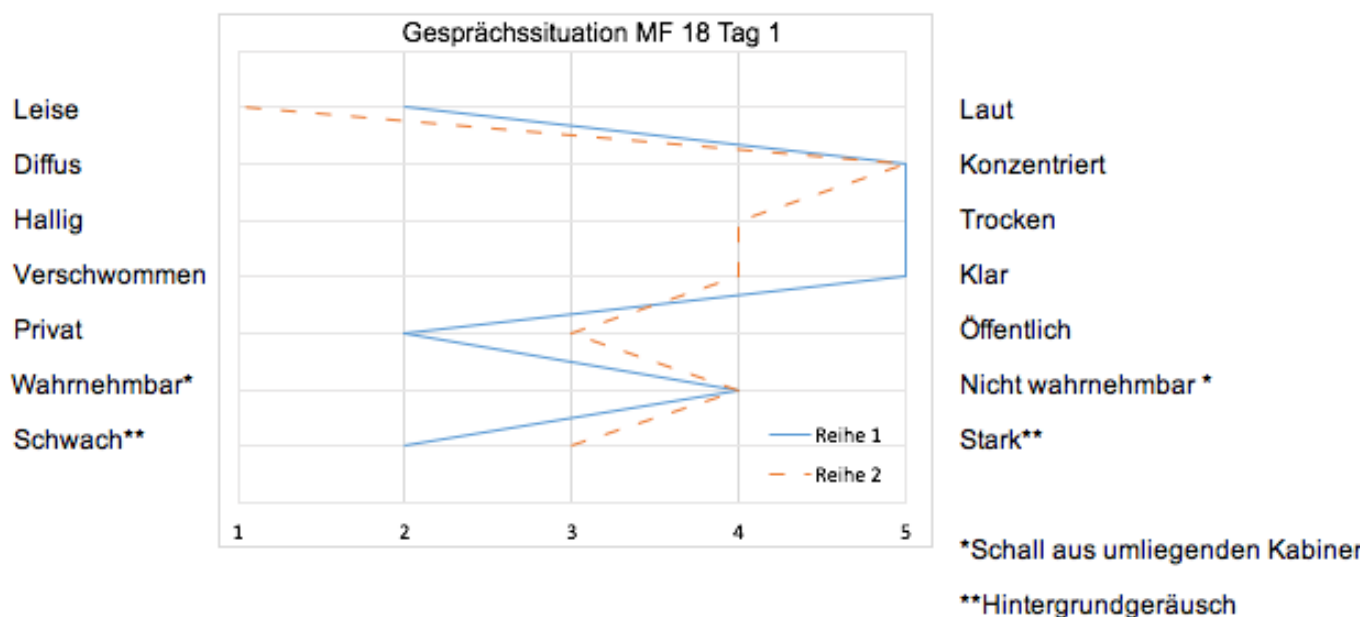


Abb.9: Verlauf des Semantischen Differentials für die zwei Kabinenreihen, Tag 1 / Recruiting Lounge, gemittelt (Median) über alle Versuchspersonen.

In Abbildung 3 sind für beide Kabinenreihen die Mediane aus den Urteilen aller Versuchspersonen dargestellt. Ausgewertet wird im Folgenden für Tag 1.

In Reihe 1 hat sich der Beurteilung nach eine eher leise und private Gesprächssituation feststellen lassen. Weiterhin wurde ein sehr konzentrierter, sehr trockener und sehr klarer

Raumeindruck vermerkt. Der Schall aus den umliegenden Kabinen war eher nicht wahrnehmbar und das Hintergrundgeräusch war ebenfalls eher schwach.

In Reihe 2 wurde eine durchschnittlich sehr leise Gesprächssituation angegeben. Der Raumeindruck war sehr ebenfalls sehr konzentriert. Außerdem war die Wirkung des Raumes eher trocken und eher klar. Eine klare Zuordnung, ob die Gesprächssituation als privat oder öffentlich wahrgenommen wurde, lässt sich schwer festhalten. Die Auswertung liegt im neutralen Bereich. Der Schall aus den umliegenden Kabinen war auch eher nicht wahrnehmbar und das Hintergrundgeräusch eher schwach.

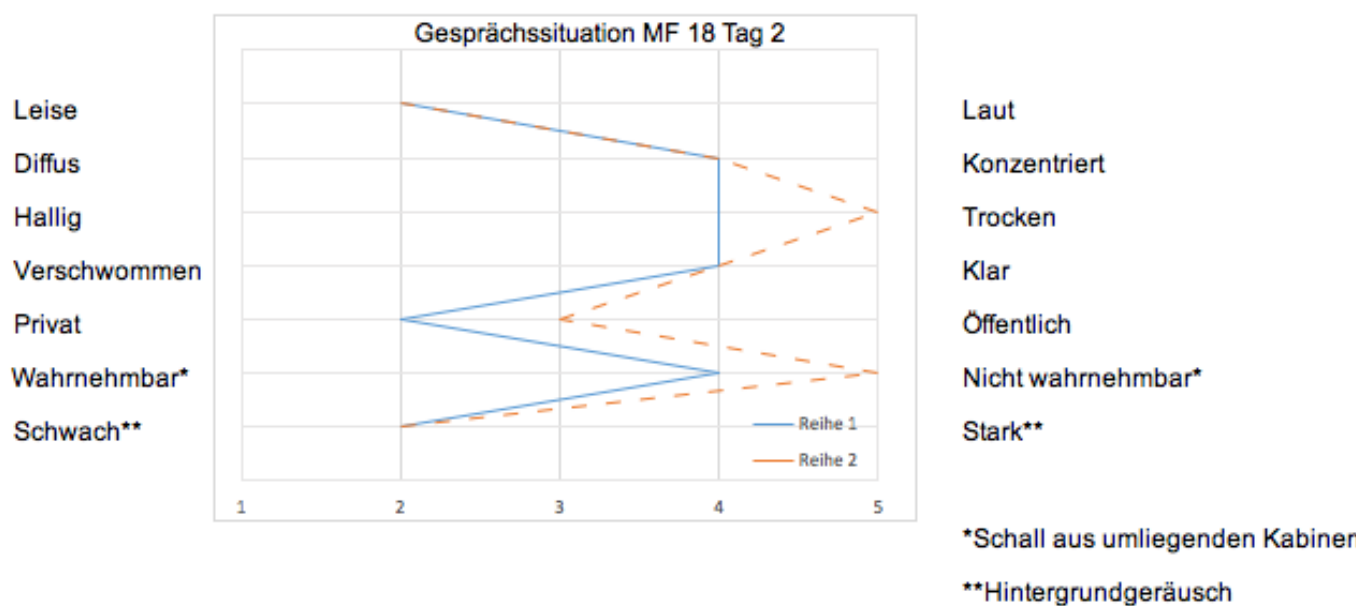


Abb.10: Verlauf des Semantischen Differentials für die zwei Kabinenreihen, Tag 2 / Recruiting Lounge, gemittelt (Median) über alle Versuchspersonen.

Abbildung 3 zeigt die Auswertung für Tag 2.

In Reihe 1 zeigt sich eine eher leise, private Gesprächssituation. Das Hintergrundgeräusch ist eher schwach. Der Raumeindruck ist eher konzentriert, trocken und klar. Der Schall aus umliegenden Kabinen ist auch eher nicht wahrnehmbar.

In Reihe 2 war die Gesprächssituation auch eher leise. Ebenfalls ergibt sich hier ein eher konzentrierter, klarer und sehr trockener Raumeindruck. Das Hintergrundgeräusch war tendenziell eher schwach. Bemerkenswert ist hier, dass keine klare Zuordnung gemacht werden kann, ob die Gesprächssituation als privat oder öffentlich wahrgenommen wurde. Dem gegenüberstehend ist jedoch, dass der Schall aus umliegenden Kabinen nicht wahrgenommen wurde und Hintergrundgeräusche waren eher schwach wahrnehmbar.

## 2.2.4 Fazit Subjektive Geräuschbeurteilung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Gesprächssituation in den Kabinen der Recruiting Lounge anhand der STI Messungen und der Umfrage als sehr gut bewertet werden kann. Die Teilnehmer bewerteten die Geräuschqualität durchwegs positiv und haben, über den Fragebogen hinaus, positives Feedback gegeben. Die Teilnehmer haben der Geräuschqualität einen überwiegend klaren, trockenen und konzentrierten Charakter zugesprochen. Innerhalb der Kabine wurde der Umgebungspegel eher leise empfunden, was eine private Gesprächssituation ermöglicht hat. Ebenfalls wurde Rückmeldung einiger Teilnehmer gegeben, dass sich die Gesprächssituation und die Geräuschqualität mit der angewendeten Stellvariante der Preform Wände im Vergleich zu der letztjährigen Stellvariante wesentlich verbessert haben. Das bekräftigt die Messung und die durchgeführte Umfrage.



### 3 Einsatz von EASE zur Planung der Recruitment-Lounge (ECKERT)

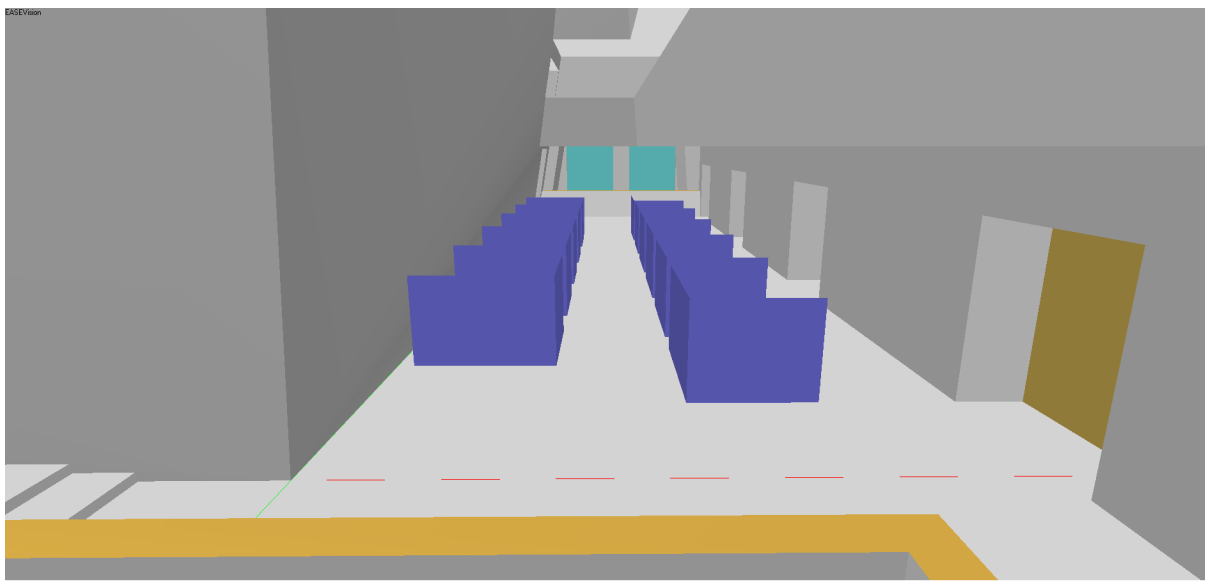


Abbildung 3.1 Blick auf die simulierte Recruitment-Lounge

#### 3.1 Ziel des Projektteils

Um die Akustik zukünftiger Recruitment-Lounges zu verbessern, soll diese planbar gemacht werden, ohne dass eine Messung im Haus mit allem verbundenen Aufwand erfolgen muss. Dazu soll hier die Simulation der Situation mit der Software *EASE* von der *Ahnert-Feister Media Group (AFMG)* erfolgen und mit den realen Messungen des Medienforums Mittweida 2018 verglichen werden.

#### 3.2 Theoretische Betrachtungen

EASE verfügt über Berechnungsmöglichkeiten mehrerer Sprachverständlichkeitswerte, wie dem  $AI_{cons}$  oder dem STI. Der **Rapid Speech Transmission Index** oder *RaSTI* ist, ähnlich wie *STI-PA* eine vereinfachte Version des *STI*. (siehe 2.1.) Anstatt der 98 Indizes, durch die 7 mal 14 Matrix, entstehen beim *RaSTI* nur 9, die die wichtigsten Frequenzbänder (500 Hz und 2kHz) und Modulationsfrequenzen abdecken. Bis zur *EASE*-Version 4.4 war nur die Simulation des *RaSTI* möglich. *EASE 4.4* ermöglicht die Berechnung aller *STI*-Varianten auf Grund-

lage von  $Al_{\text{cons}}$ -Formeln. Die Umwandlung von  $Al_{\text{cons}}$  in  $STI$  erfolgt mithilfe der Farrel-Becker-Gleichung (EASE 2000, S.163):

$$Al_{\text{cons}} = 10^{\frac{1-STI}{0,45}} \% \quad (4.I)$$

(Ahnert 2/2008, S.543) Diese Formel lässt sich nach dem  $STI$  umstellen zu:

$$STI = -0,45 \lg(Al_{\text{cons}}/\%) + 1 \quad (4.II)$$

Der  $STI$  beachtet nur den physikalischen Übertragungsweg, im Gegensatz zum  $Al_{\text{cons}}$ , der sich ebenfalls auf die Muttersprachlichkeit, oder ähnliche subjektive Beeinflussungen beziehen kann. (Lorenz-Kierakiewitz 2016, S.3)

Der  $Al_{\text{cons}}$ , also der *articulation loss of consonants*, wurde 1971 von Peutz eingeführt. Es ist ein in Prozent angegebener Wert, wobei mit steigender Prozentzahl auch der Verlust der Artikulation der Konsonanten steigt, die Sprachverständlichkeit also abnimmt. Der Zusammenhang zwischen  $STI$ ,  $Al_{\text{cons}}$  und der Bezeichnung nach Norm ist in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

**Tabelle 3.1**

*Zusammenhang zwischen  $STI$ ,  $Al_{\text{cons}}$ , und der Norm*

STI	$Al_{\text{cons}}$ in %	Einstufung nach DIN EN 60268-16
0 ... 0,30	100 ... 36	schlecht
0,30 ... 0,45	36 ... 17	schwach
0,45 ... 0,6	17 ... 8	angemessen
0,6 ... 0,75	8 ... 3,6	gut
0,75 ... 1	3,6 ... 1	ausgezeichnet

*Anmerkung.* Die Tabelle umfasst nur die für diese Erklärung relevanten Daten, und nicht die gesamte Tabelle aus dem Original.

(Ahnert 2/2008, S.543)

Nach den von Peutz empirisch ermittelten Verhältnissen lässt sich der  $Al_{\text{cons}}$  als Funktion des Raumvolumens, der Nachhallzeit  $T$  und dem Abstand zur Quelle  $s$  ausdrücken,

$$Al_{\text{cons}} = \left( 200 \frac{(sT)^2}{V} + a \right) \% = \left( 0,625 \left( \frac{s}{r_H} \right)^2 + a \right) \% \quad (4.III)$$

wobei  $r_H$  der Hallradius ist. Die Güte des Sprechers wird durch die Variable  $\alpha$  ausgedrückt. Sie nimmt einen Wert zwischen 0, für einen guten Sprecher und 15, für einen schlechten Sprecher an. (Fuchs 2017, S.189)

Es ist weiterhin möglich, den  $Al_{\text{cons}}$  aus der Raumimpulsantwort zu bestimmen, in dem für die Direktschallenergie die Energie bis ca. 35 ms und für die Nachhallenergie die Restenergie nach 35 ms eingesetzt wird:

$$Al_{\text{cons}} = 0,625 \left( \frac{E_{\infty} - E_{35}}{E_{35}} \right) T\% + \alpha\% \quad (4.IV)$$

Je länger also der Nachhall, sprich, je größer die Energie nach 35 ms, desto höher der Artikulationsverlust, da Nachhall für spätere Nutzsignale wie Störschall wirkt. (Ahnert 1/2008, S.193)

Zur Vergleichbarkeit von  $Al_{\text{cons}}$  und  $STI$  kann gesagt werden, dass diese korrelieren, also einen Zusammenhang aufweisen. (Fuchs 2017, S.189f; dort Abb. 11.9) Die Berechnungsmethode von  $EASE$  eignet sich also grundlegend zum Vergleich mit einer  $STI$ -Messung.

$EASE$  berechnet den  $Al_{\text{cons}}$ -Wert, wenn *Standardmapping* mit *Reflections* durchgeführt wird (ohne *Reflections* kommt man zu keinem verwertbaren Ergebnis), über Strahlenverfolgung (*Ray-Tracing*). Über den Energieeintrag der Strahlen, die durch Absorptionsgrad der Flächen des Raumes und deren Streugrad beeinflusst werden, auf die Hörerfläche, wird die Energie vor 35 ms mit der danach wie in **Formel 1** ins Verhältnis gesetzt, und so der Artikulationsverlust ermittelt. In früheren Versionen, wie im  $EASE$  Tutorial beschrieben, war die Berechnung von  $Al_{\text{cons}}$  und demnach auch von  $RaSTI$ , noch frequenzgebunden. Mittlerweile ( $EASE$  4.4) wird eine Mittelung ermittelt und angezeigt. Zu der Art der Mittelung ließ sich keine von  $EASE$  verwendete Methode finden. ( $EASE$  2000, S.162ff); (Eckert 2018, S.12f) Im „Handbuch der Audiotechnik“ schreibt Ahnert jedoch wie folgt:

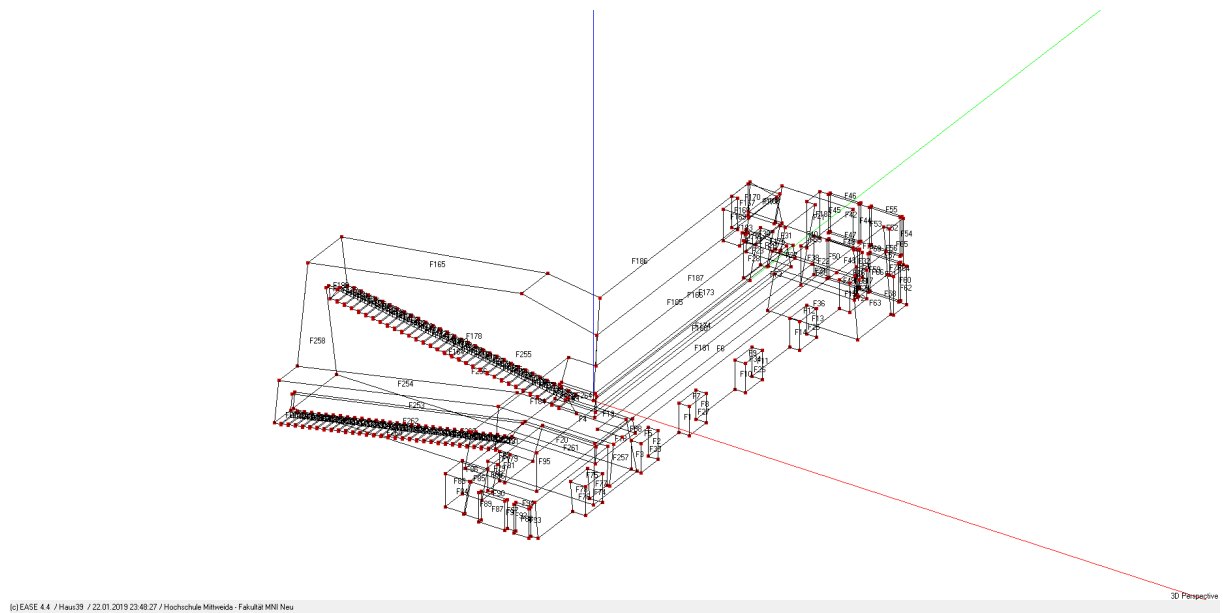
„ $Al_{\text{cons}}$  wird für die 1000 Hz- oder auch bevorzugt für die 2000 Hz-Oktave angegeben; zielführend und als Vergleich mit den [...]  $RASTI$ -Werten wird  $Al_{\text{cons}}$  auch oft über drei Oktaven um 1000 Hz gemittelt errechnet. Frequenzabhängige Darstellungen sind unüblich.“ (Ahnert 1/2008, S.193)

Das Modul  $AURA$ , also ***Analysis Utility for Room Acoustics***, hingegen verwendet den von der Universität Aachen (RWTH) entwickelten *CAESAR-Algorithmus*, um Impulsantworten zu bestimmen. Aus diesen können dann alle in der ISO 3382 definierten Parameter berechnet werden, über das gesamte raumakustisch relevante Frequenzband. ( $EASE$  2000, S.238)

Aus der Impulsantwort wird mittels (Formel 4.IV) wie bei der Strahlenverfolgung die Energie vor und nach 35 ms ins Verhältnis gesetzt. Da die Impulsantwort bereits alle Zeit-, Frequenz-, Orts- und Rauminformationen enthält, ist diese Methode sehr genau und wird zur Verwendung empfohlen.

Ein weiteres Maß zur Einschätzung der Sprachverständlichkeit ist der Direktschall. Dieser ist maßgeblich an der Quellenortung beteiligt und enthält gerade die Informationen der mittleren und hohen Frequenzen, die Sprache überhaupt erst artikulieren (charakteristische Obertöne bei Vokalen und Charakter/Unterscheidung der Konsonanten). Befinden sich nun Objekte zwischen Quelle und Empfänger, so schirmen diese den Direktschall ab. Der Schall der Quelle trifft nun erst ein, wenn er von reflektierenden Flächen zum Empfänger hin abgeleitet wird. Gerade wenn das Objekt Quelle und Empfänger nicht so trennt, dass sich diese quasi in getrennten Räumen befinden, kommt durch Beugungseffekte vor allem für tiefe Frequenzen trotzdem Schall aus der ursprünglichen Richtung an. Jedoch sind die mittleren und hohen Frequenzen maßgebender für die Sprachverständlichkeit, gerade für die Übertragung von Konsonanten- und Vokalcharakter.

### 3.3 Aufbau des EASE Modells



**Abbildung 3.2** Drahtgittermodell des Hauses 39 der Hochschule Mittweida

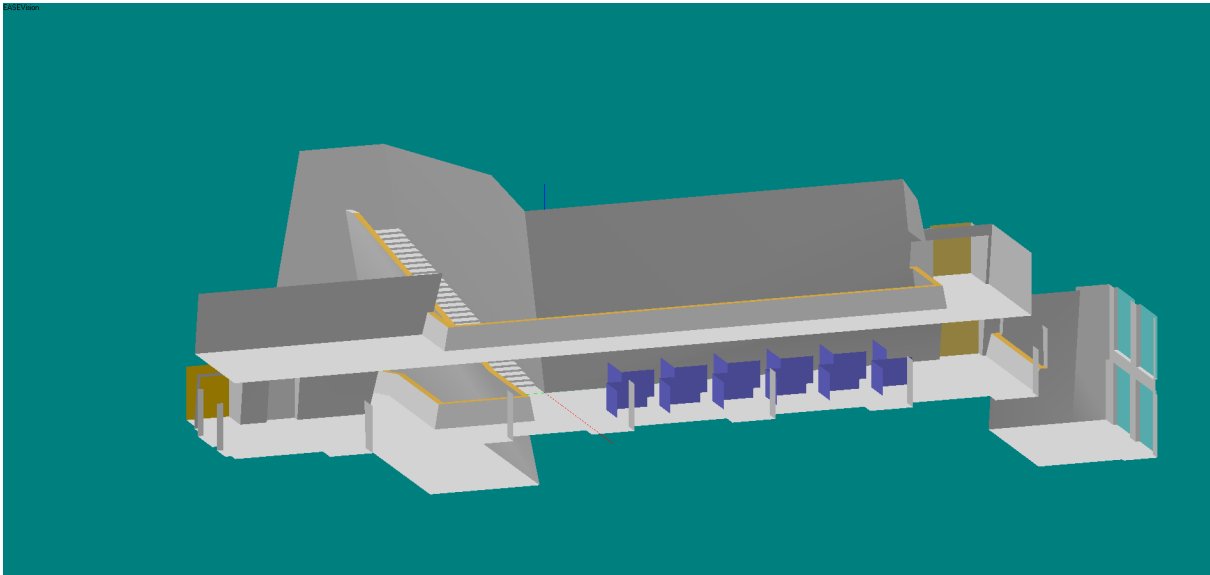
Um einen Vergleich einer Messung im Haus 39 der Hochschule Mittweida mit einer Simulation möglich zu machen, muss das Haus 39 dazu erst einmal virtuell nachgebaut werden. Hierfür wurde die Raumgeometrie mit Hilfe von Laser-Entfernungsmessern ausgemessen. Verwendet wurden genauer das *BOSCH PLR 50 C* und das *Meister Laserentfernungsmesser 25m*. Beide Messgeräte besitzen einen maximalen Messfehler von  $\leq \pm 2,0$  mm, der bei großen Entfernungen am größten ist, und wurden als ausreichend genau angesehen, da die maximale Eingabegenauigkeit von *EASE* bei 0,1 mm liegt. Ebenfalls wurden die von der Hochschule zur Verfügung gestellten Grundrisse des Hauses zu Rate gezogen. Diese schießen jedoch nicht der finalen, umgesetzten Version des Hauses zu entsprechen, da sich mehrere Ausführungen strukturell stark unterscheiden. So ist z.B. die nördliche innere Geländerstruktur über alle Etagen, um  $5^\circ$  zum Lot, im Grundriss zur 3. Etage hin und im ausgemessenen Haus 39 von der 3. Etage wegkippt.

Da sich die Recruitment-Lounge des Medienforums im 2. Stock des Hauses 39 befindet, wurde auch nur diese im größtmöglich sinnvoll machbaren Detail nachgebildet. Angrenzende Türen, also auch die zu den Rundgängen der Etage zeigenden, wurden als geschlossen angenommen. Die Türausschnitte – der Raum von etagenbegrenzender Wand bis zu Tür und Türrahmen – wurden vollständig ausmodelliert, ebenso wie die Ausschnitte zum Fahrstuhl. Die anspruchsvolle Architektur des Hauses, mit vielen nicht rechten Winkeln, erschwerte erheblich die Messungen, führt aber dazu, dass kaum 2 Flächen parallel liegen. Sogar die Decken sind nicht parallel zum ebenen Fußboden. Dort, wo der Gang der 3. Etage

in den Raum zwischen 2. Etage und Dach hineinragt, ist zwar die Unterseite dieser Empore parallel zum Boden, jedoch wurde beim Bau ein Absorber von unten in die Konstruktion eingebracht. Auch dieser wurde im virtuellen Modell mit eingebaut, jedoch war es nicht möglich, dessen genaue Schallminderungswirkung auszumessen.

In Fachliteratur zur raumakustischen Simulation (Vorländer 1989, S.172) wird nahegelegt, Strukturen kleiner als 50 cm nur in Ausnahmefällen auszumodellieren. Das Glasdach wurde, diesem Vorsatz nach, in Größe und Winkel komplett im Modell umgesetzt, jedoch ohne eine Detaillierung der (vermutlich aus Stahl bestehenden, jedoch mit Blech verkleideten und lackierten) Querstreben, da zum einen die Überprüfung des Materials unmöglich gewesen wäre und zum anderen das Dach am tiefsten Punkt über 8 Meter von der 2. Etage entfernt liegt und diese damit nicht maßgeblich genug an der Diffusität des Schallfeldes in der 2. Etage beteiligt sind, um eine Ausmodellierung zu rechtfertigen.

Ebenfalls in das Modell eingebracht wurde der im westlichen Teil des Gebäudes befindliche Durchbruch vom 2. zum 1. Stock, mit insgesamt 4 großen, über beide Etagen verteilten, Fenstern. Die von der 2. zur 3. und 1. Etage abgehenden Treppen wurden ebenfalls komplett übernommen. Obwohl Strukturierungen einer Fläche nicht zwingend ausmodelliert werden müssen, indem man ihnen einen entsprechen frequenzabhängigen Streugrad zuweist (Struchholz 2010, S.26), bot sich dies hier nicht an, da es komplizierter gewesen wäre, den Streugrad der Treppe zu ermitteln, als eine Fläche zu schaffen und sie 31-fach zu kopieren. Für den 3. Stock wurde lediglich die Empore übernommen, mitsamt östlichem Raumteil in Richtung Treppenhaus und Fahrstuhl. Türausschnitte, sowie Fahrstuhl wurden hier nicht ausmodelliert.



**Abbildung 3.3** Blick in die 2. und einen Teil der 3. Etage von Norden.

Da das Haus sehr offen alle Etagen mitsamt Erdgeschoss miteinander verbindet, bildet sich ein sehr großes gesamtes Raumvolumen, welches nur mit sehr hohem Aufwand genau zu bestimmen wäre. Weiterhin wurde nur die 2. Etage komplett ausmodelliert. Beispielsweise das Foyer wurde außen vor gelassen, sodass das eigentliche Raumvolumen nicht vom Modell repräsentiert wird. Hinzu kommt, dass sich das Volumen in mehrere Volumina unterschiedlicher Größe und Verbindungsfläche aufteilt, was die Ermittlung der Wirkungen der Raumgeometrie auf den jeweiligen Ort zusätzlich erschwert. Um dieses Volumen mit in die Simulation einzubringen, und zusätzlich eine Stellschraube für die Nachhallzeit zu haben, wurde unten an das große Treppenhaus in Richtung Foyer ein Quaderförmiges Zusatzvolumen angesetzt. (siehe Abb. 3.11)

Anschließend wurde noch die ausgewählte Stellvariante der akustischen Trennwände ins Modell eingebracht. Die Stellvariante ist die, die auch bei der *Recruitment Lounge* zum Einsatz kam. Für die Stellwände der Firma *Preform* wurden *Two Fold Faces* mit einer Breite von 1,6 bzw. 2 m und einer Höhe von 1,3 m so wie beim Medienforum angeordnet.

Den Türen und Geländern wurde zunächst *PARKETT* als Material zugewiesen. Die Fenster und das Glasdach wurden mit dem Material *FENSTER 1* ausgestattet. Sämtliche restliche Flächen wurden als Glattbeton definiert, mit Ausnahme des Absorbers, der erst einmal mit dem Material *ABSORBER* ausgestattet wurde. Die akustischen Stellwände wurden beidseitig mit *ABSORBER* versehen. Anschließend wurde die Nachhallzeit mit *Room RT* überprüft. Um das Simulationsmodell mit dem realen Gebäude Vergleichbar zu machen, wurde vor dem Medienforum bei aufgestellten Stellwänden die Nachhallzeit des Gebäudes gemessen. Die Ergebnisse wurden frequenzabhängig in das Modul *Optimize RT* als Zielkurve eingegeben.

Eine Anpassung der Materialien glich die Nachhallkurve der gemessenen an, sodass die Fenster nun *RAUHBETON*, das Holz (Türen und Geländer) nun  $\alpha = 50\%$  (ein Absorptionsgrad von  $\alpha = 0,5$  über den gesamten Frequenzbereich), der Fahrstuhl nun *VORHANG* und der Absorber an der Empore nun *AK12-L-AB* (der Frequenzgang ist im oberen Teil von Abb. 3.4 zu sehen) sind. Um die Nachhallzeit dann insgesamt zu senken wurde das Zusatzvolumen so angepasst, dass die Werte ungefähr übereinstimmen.

**Tabelle 3.2**

*Anpassung der Nachhallzeit RT60 zwischen Simulation und Messung*

Frequenz in Hz	RT60 vor der Anpassung	RT60 nach der Anpassung	Gemessene RT60
125	7,96	3,81	3,89
250	7,54	3,67	3,49
500	6,12	3,06	3,29
1000	5,65	3,02	3,16
2000	3,84	2,77	2,48
4000	2,73	1,69	1,30
8000	2,01	1,02	0,58

#### Simulation und Auswertung

*EASE* bietet verschiedene Möglichkeiten, um Raumakustik zu simulieren und auszuwerten. Die etwas ungenaueren Methoden, wie das *Standardmapping*, sind zum Abschätzen und für schnelle Vergleichbarkeit oder Planung gedacht. Für eine Simulation, die den Zweck der Vergleichbarkeit mit realen Messungen erfüllen soll, sollte ein Mapping mit *Aura* durchgeführt werden.

Um ein *Mapping* durchführen zu können, muss man zuerst *Audience Areas* einfügen. Für jede Kabine wurde ein separates *Audience Area* in 1,2 m Höhe angelegt. Die Messpunkte, die bei der realen Messung verwendet wurden, wurden ebenfalls eingefügt, als *Listener Seats*, in einer Höhe von 1,2 m, genau wie in der Messung durchgeführt, und von der Norm gefordert. Als Schallquelle diente die *Yamaha F12* mit einer relativ breiten Richtcharakteristik. Diese wurde gewählt, da die Schallquelle bei der Messung ebenfalls über eine relativ breite Richtcharakteristik verfügte, jedoch nicht über die Eigenschaften eines Kugelstrahlers. Da bei der Vergleichsmessung in 1 m Entfernung ein Schalldruckpegel von 72,9 dB gemessen wurde, wurde der Lautsprecher entsprechend konfiguriert. In den Lautsprechereinstellungen ist es möglich den Schalldruckpegel in 1 m Entfernung einzutragen.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der *Aura* Simulation mit den Ergebnissen der Messung gegenüber gestellt. Abb. 3.6 zeigt die Positionen der Messpunkte.



**Tabelle 3.3**

Vergleich zwischen Mess- und Simulationsergebnissen.

Messpunkt	Simulation		Messung	
	STI	$L_{Aeq}$ in dB	STI	$L_{Aeq}$ in dB
1	0,98	73,4	0,96	72,7
2	0,55	53,7	0,45	59,5
3	0,76	61,2	0,78	61,2
4	0,59	55,5	0,36	58,9
5	0,59	56,4	0,50	58,4
6	0,54	55,9	0,42	59,8
7	0,54	57,0	0,56	57,8

Generell ist zu sagen, dass die Ergebnisse größtenteils nah beieinanderliegen. Gerade die Schalldruckpegel sind sich mit einer Standardabweichung von rund 2 dB sehr ähnlich. Am Messpunkt 4 gehen die *STI*-Werte stärker auseinander und an den Punkten 2 und 6 gibt es auch merkliche Abweichungen. Die Sprachübertragung ist bei Messung und auch Simulation innerhalb der Kabine ausgezeichnet. Außerhalb, gerade in den anliegenden Kabinen in Richtwirkungsrichtung der Quelle, ist die Verständlichkeit zwar immer noch gut, jedoch deutlich geringer. In den Kabinen auf der anderen Seite des Ganges nehmen Verständlichkeit und Pegel stark ab.

Sowohl in Abb. 3.7 als auch in Abb. 3.8 fällt auf, dass die Reflexionen entlang der Empore deutlich höhere Pegel und Sprachverständlichkeiten erzeugen. Auch ist die Richtcharakteristik der Schallquelle gut zu erkennen. Abb. 3.10 zeigt den Direktschall auf den Audience Areas. Die Schallquelle in dieser Kabine und dieser Stellkombination strahlt also nur noch in eine weitere Kabine direkt Schall ab, und dies nicht an einen Sitzplatz. Auf dem Bereich, wo Abb. 3.10 in der anderen Kabine Direktschall zeigt, zeigt Abb. 3.8 deutlich höhere *STI* Werte, da der Direktschall, wie im Theorieteil beschrieben, die wichtigsten Sprachcharakteristika der höheren Frequenzen trägt.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist, dass sich die Simulationen von *STI-PA* und *STI* in *EASE* kaum unterscheiden, die Werte des *STI-PA* jedoch dazu neigen etwas größer zu sein. (Größenordnung 0,02) (siehe Abb. 3.9 und Abb. 3.8)

### 3.4 Fazit

Die Ergebnisse von Simulation und Messung sind in jedem Falle als vergleichbar zu bezeichnen. Die Simulation wurde so gut es geht den Messbedingungen angepasst und so wurde eine Umgebung geschaffen, in der zukünftig vor dem Medienforum Möglichkeiten ausprobiert werden können, um die Akustik der Recruitment-Lounge weiter zu verbessern. Es können andere Stellvarianten ausprobiert, oder weitere akustische Elemente getestet werden, ohne diese kaufen oder aufbauen zu müssen. Somit kann auch in Zukunft die Gesprächsqualität der Recruitment-Lounge hoch gehalten, oder sogar verbessert werden.

Weiterentwicklungen dieser Arbeit könnten darin bestehen, den bereits im Haus vorhandenen, unten an der Empore angebrachten, Absorber auszumessen, und so genauer in die Simulation einzupassen. Ebenfalls könnte man das Absorptionsverhalten der *Preform*-Stellwände ermitteln. Auch könnten die anderen Etagen, soweit möglich und mit dem Rechenaufwand von *EASE* vereinbar, ausmodelliert und zum Simulationsmodell hinzugefügt werden. Wenn die Messtechnik vorhanden ist, sollte auch die Messung einer Impulsantwort kein Problem sein, aus der man den *STI* herausrechnen kann, ebenso wie genauere Nachhallzeiten und weitere Raumakustische Parameter wie das Deutlichkeitsmaß  $C_{50}$  oder  $Al_{\text{cons}}$ .

### 3.5 Abbildungen

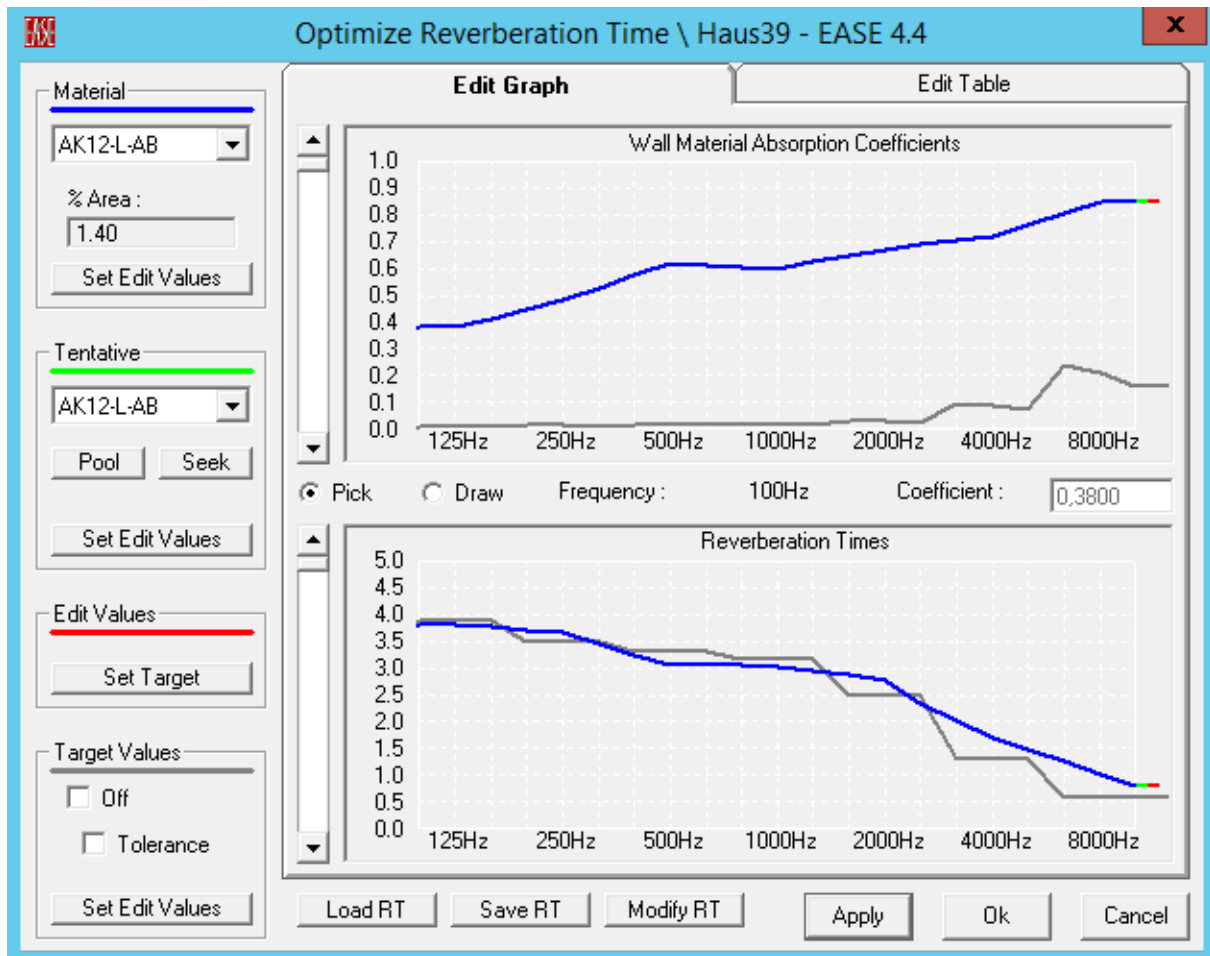
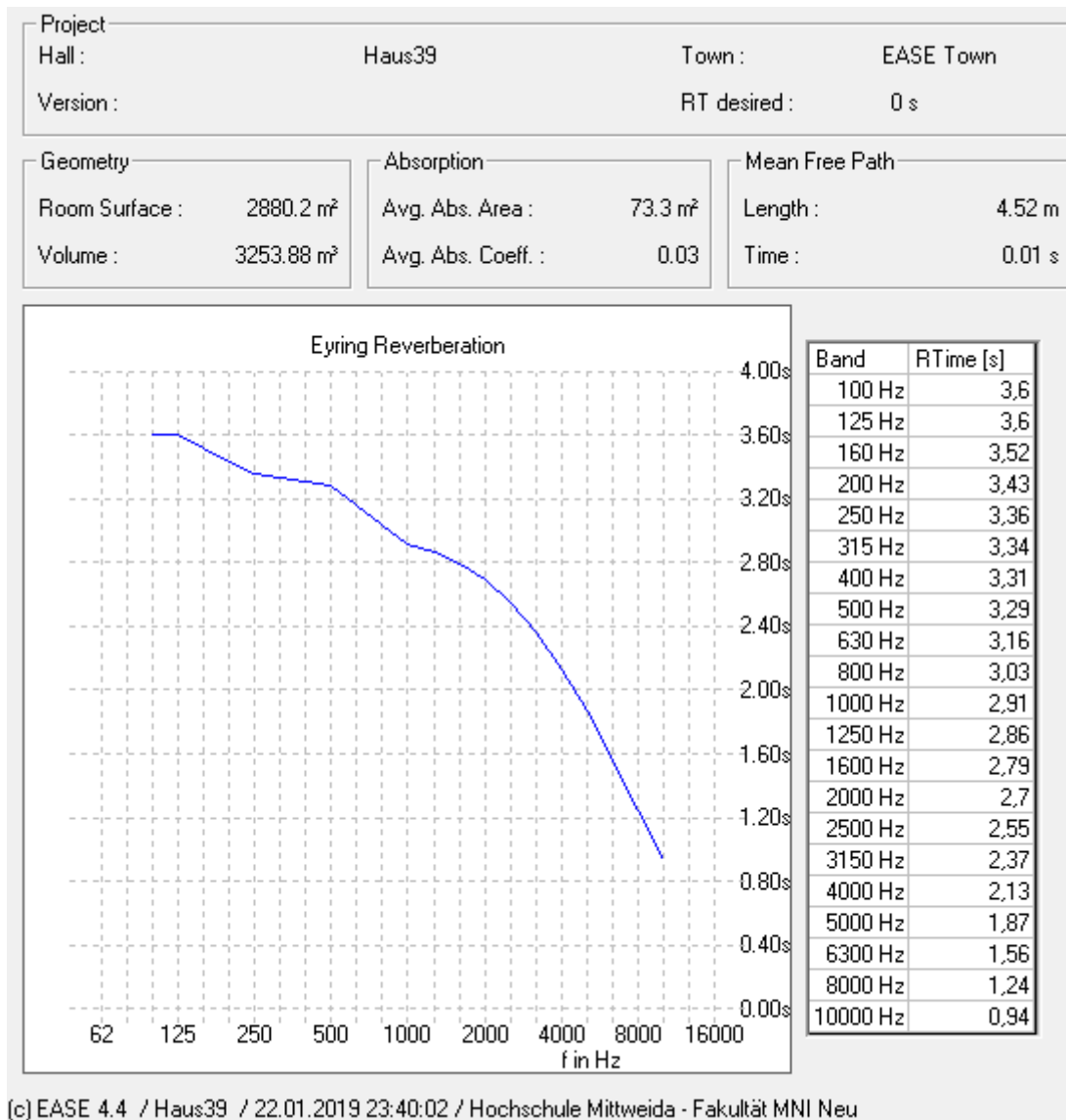


Abbildung 3.4 Optimize RT mit dem Absorptionsverlauf von AK12-L-AB (oben)



**Abbildung 3.5** Nachhallzeit nach Eyring

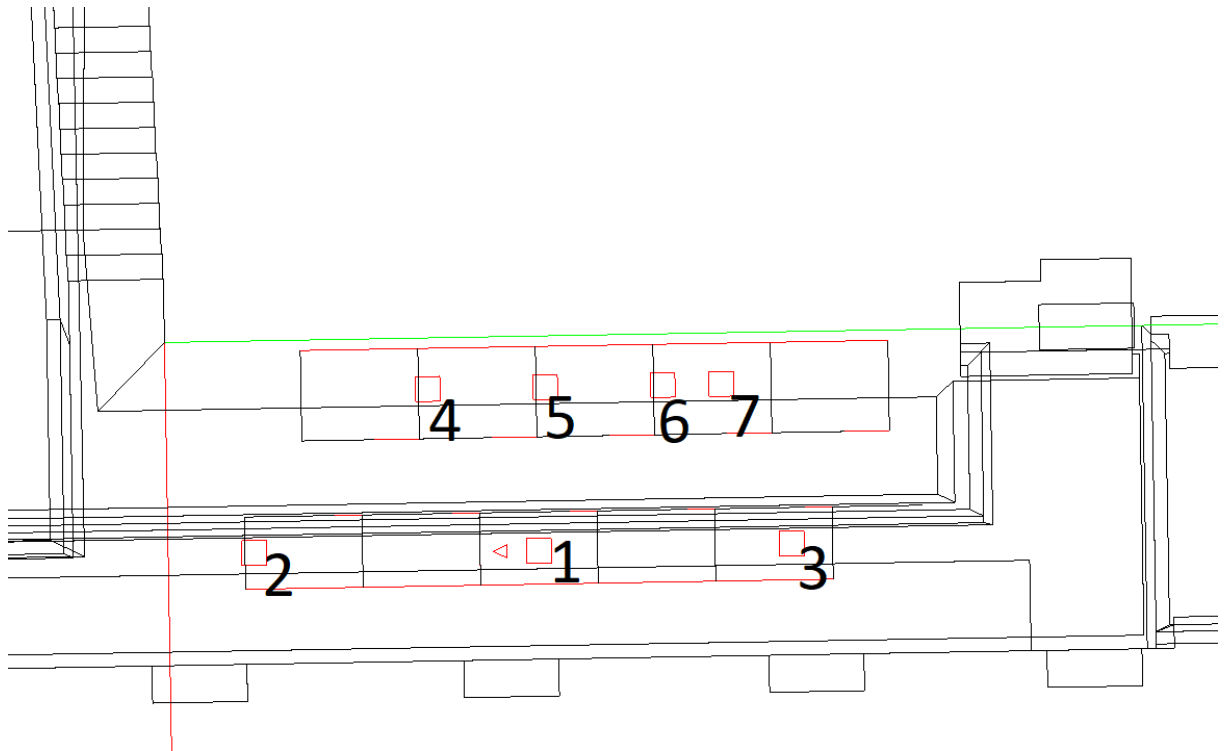


Abbildung 3.6 Messpunkte im Haus

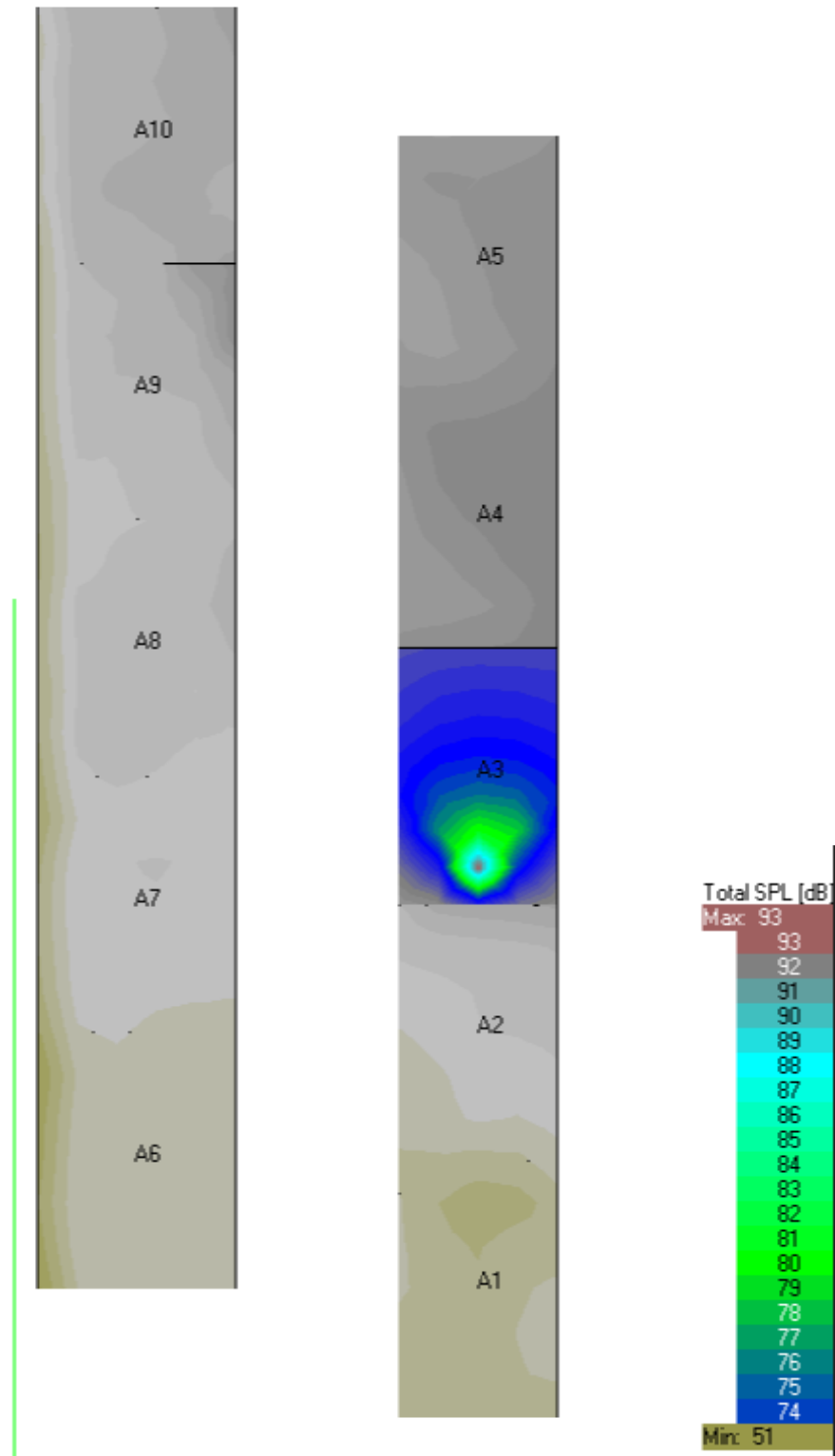


Abbildung 3.7 Mapping des Gesamtschalldruckpegels

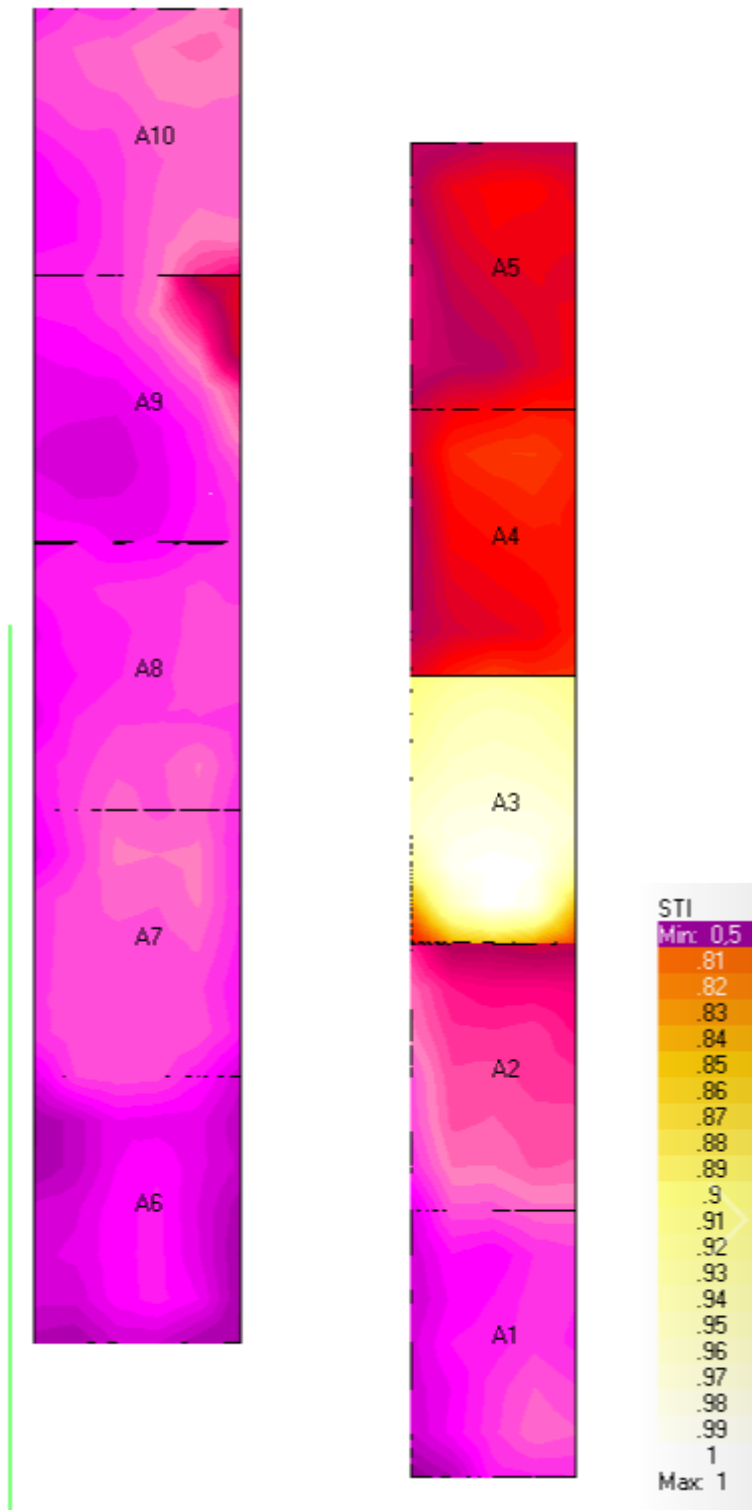


Abbildung 3.8 Mapping des STI

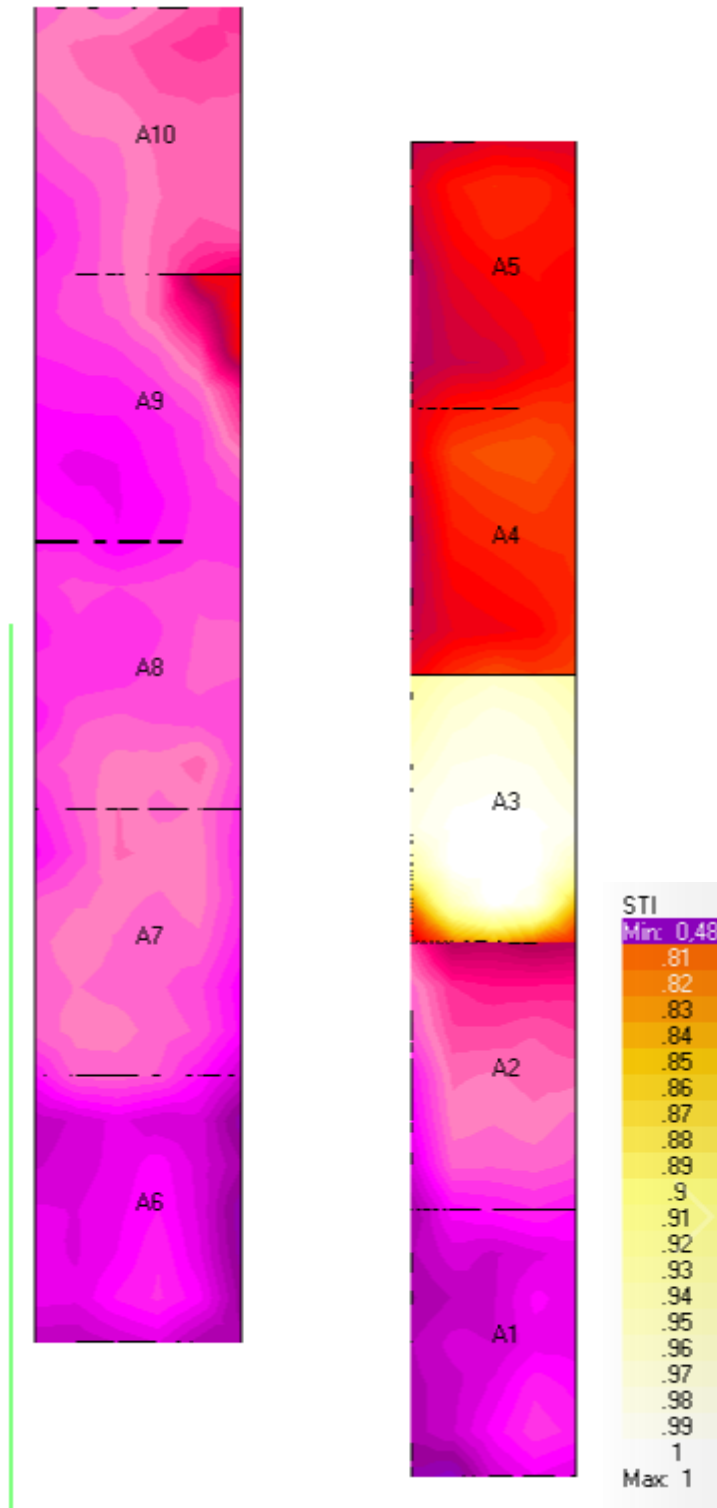


Abbildung 3.9 Mapping des STI-PA



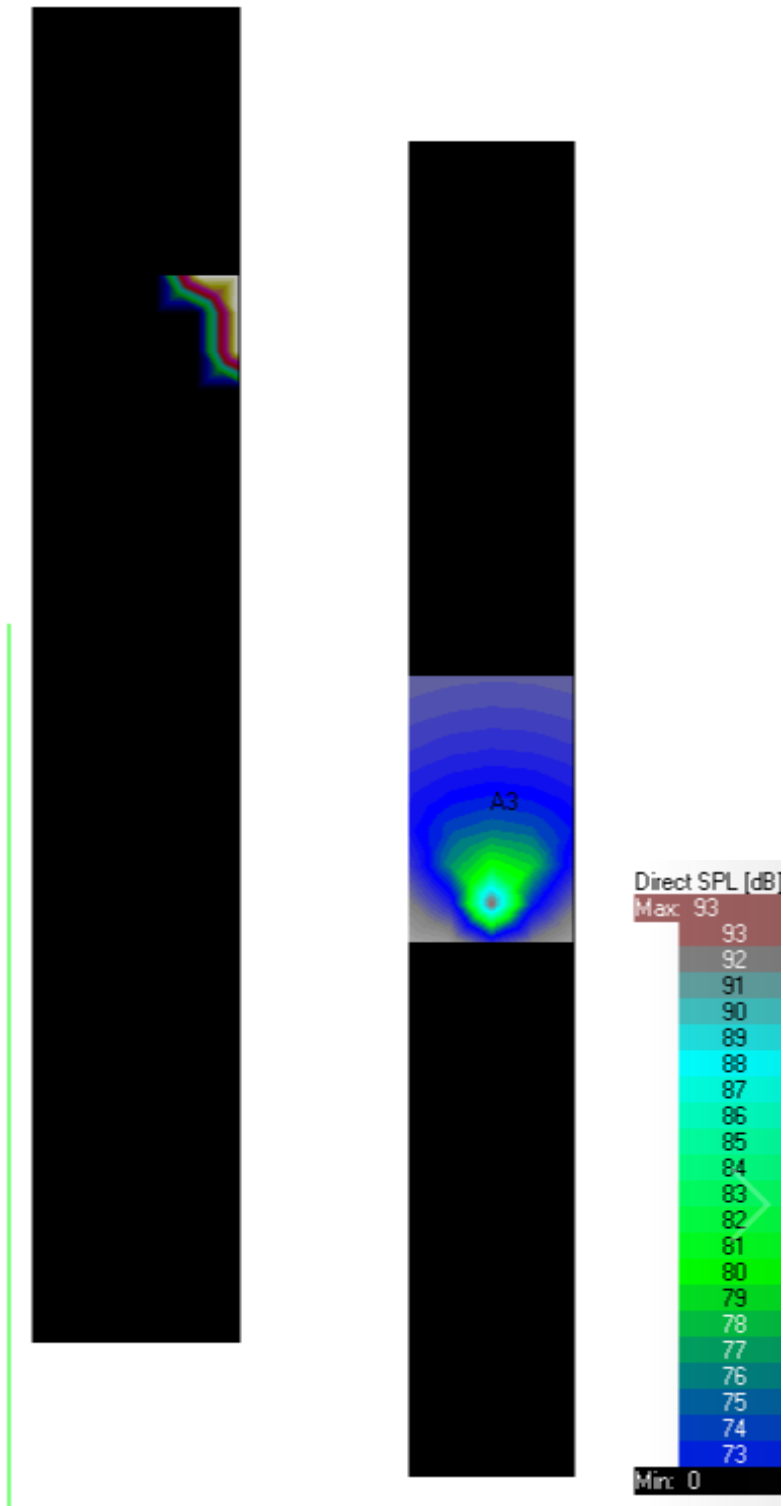


Abbildung 3.10 Mapping des Direktschallpegels

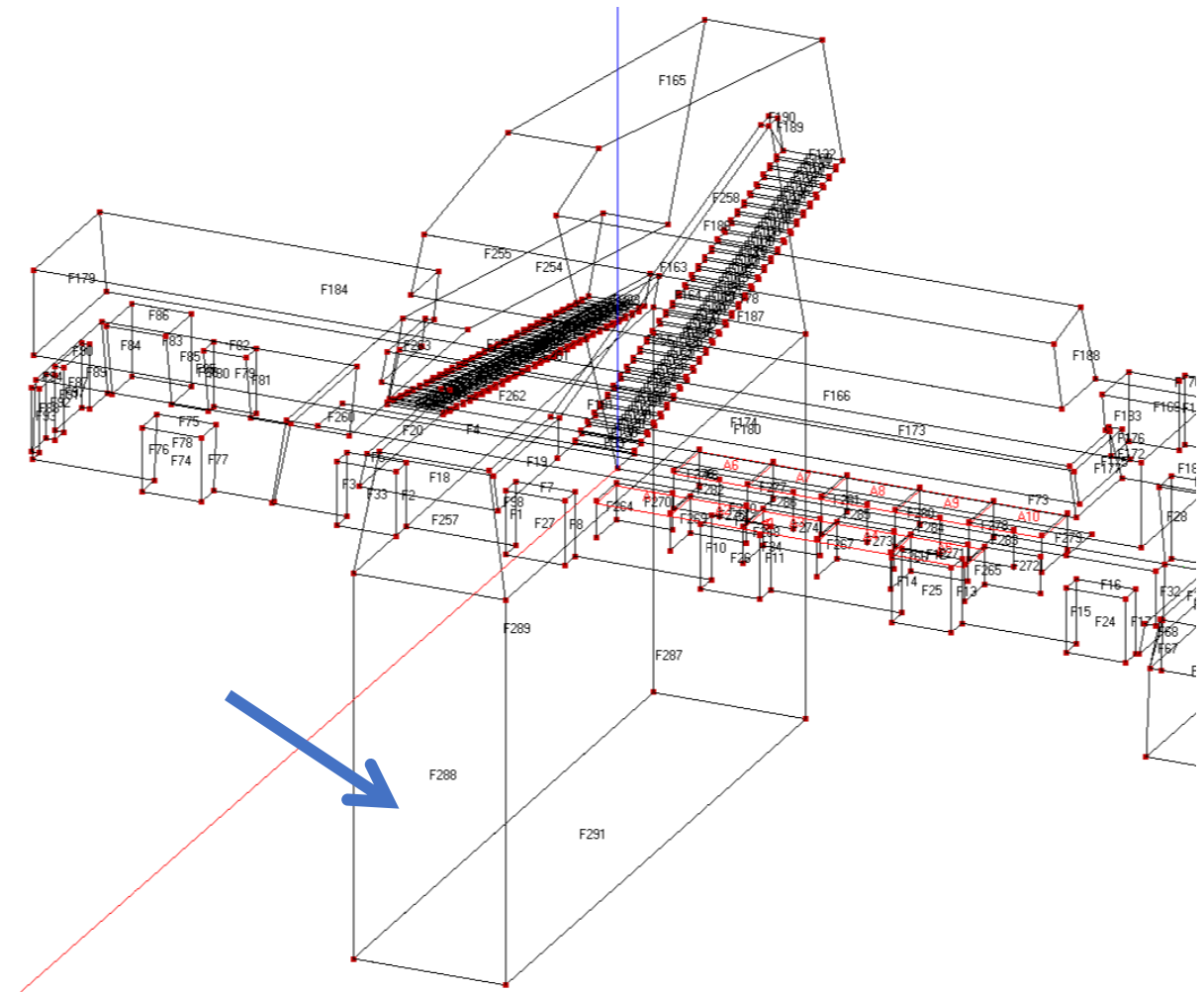


Abbildung 3.11 Zusatzvolumen unterhalb der 2. Etage

## 4 Prorektorat (FISCHER)

### 4.1 Messbericht

Messung der Nachhallzeit

Nach DIN EN ISO 3382-2:2008,

Akustik- Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen (ISO 3382-2:2008)

#### 4.1.1 Verwendete Messausrüstung

Lautsprecher: Dodekaeder

Mikrofon: NTI Audio M4260, ¼“ Kapsel

Analysator: NTI Audio XL2, Nr. 3 Inventarnummer: 39001;  
Nr. 4 Inventarnummer: 38999

Signalgenerator: NTI Audio Minirator

Verstärkerendstufe für Dodekaeder

Laser Entfernungsmesser: Bosch PLR 50

#### 4.1.2 Messbedingungen

Temperatur: 22 °C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ )

Relative Luftfeuchte: 45% ( $\pm 5\%$ )

Bei der Messung anwesende Personen im Raum: 1

Voll möbliert

Raumvolumen:

Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung: 64,32 m<sup>2</sup> ( $\pm 2\%$ )

Zimmer 2: Büro Herr Baumgart: 60,47 m<sup>2</sup> ( $\pm 2\%$ )

Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung: 52,85m<sup>2</sup> ( $\pm 2\%$ )

#### 4.1.3 Messverfahren

Terzband-Analyse mittels Schröder-Rückwärtsintegration, Verfahren des abgeschalteten Rauschens

Wiederholungen pro Messposition: 5

Räumliche Mittelwertbildung: arithmetisches Mittel:

Anzahl der Senderpositionen pro Raum: 2

Anzahl der Empfangspositionen pro Raum: 3

#### 4.1.4 Messergebnisse

##### Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung

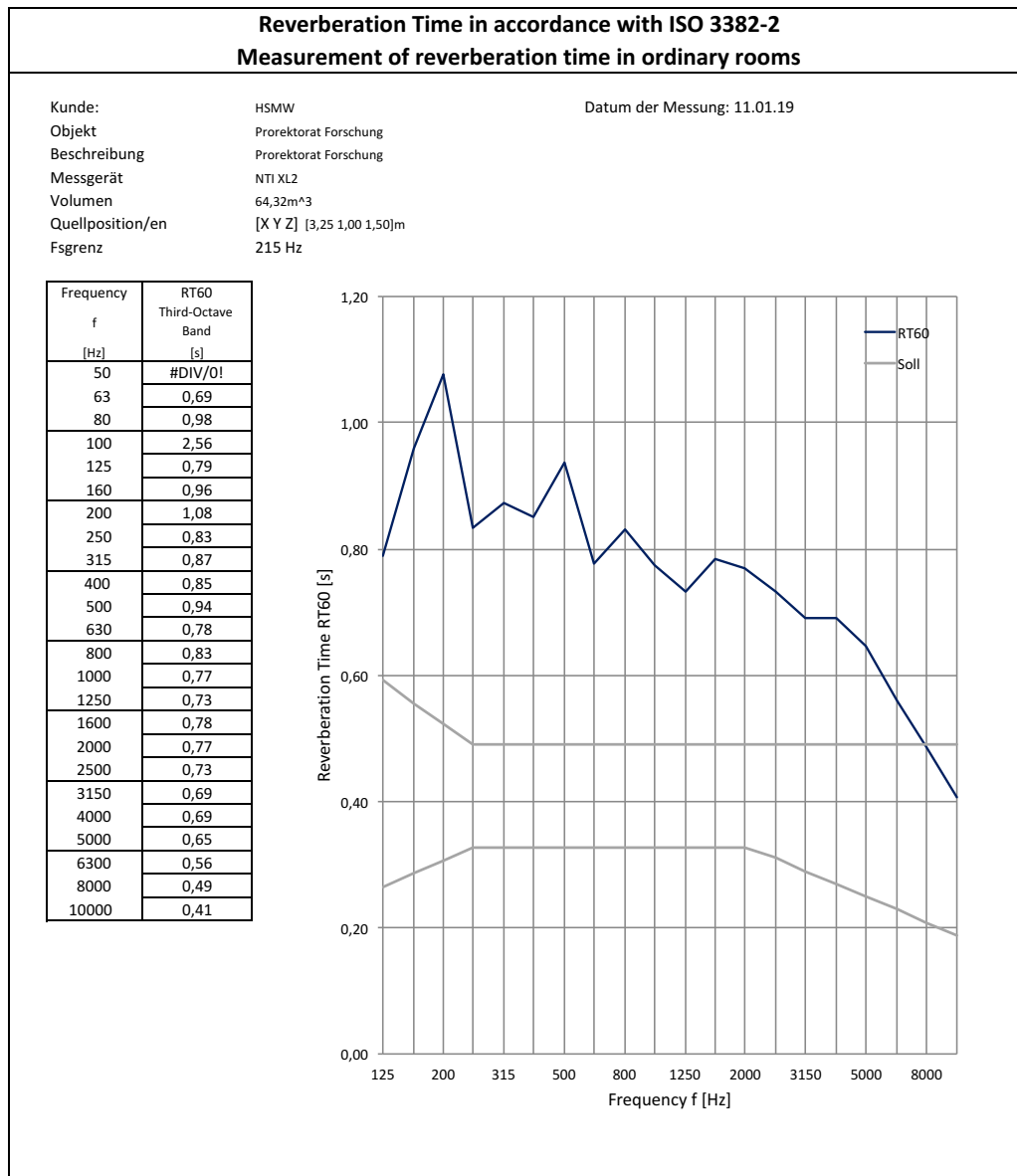
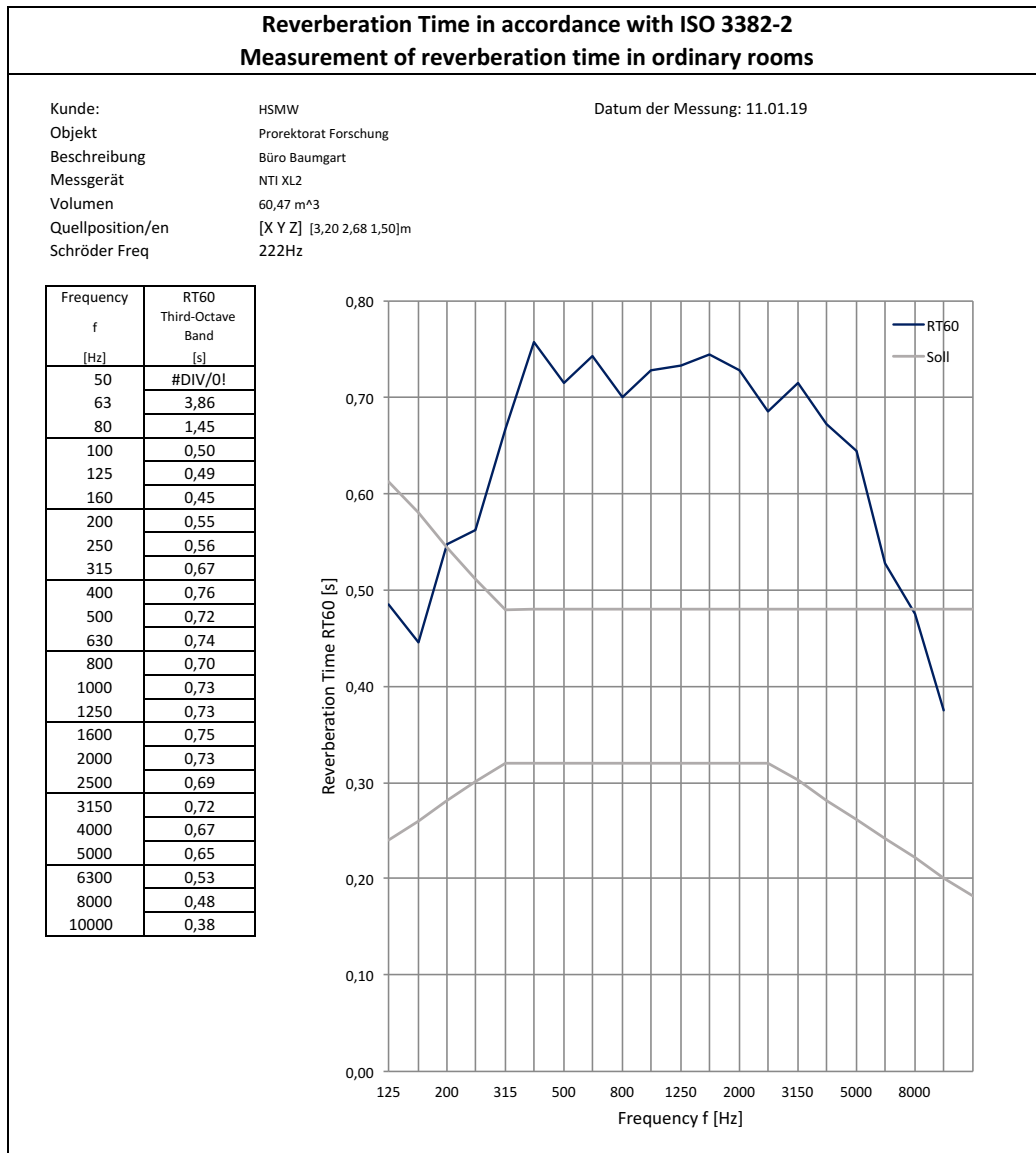


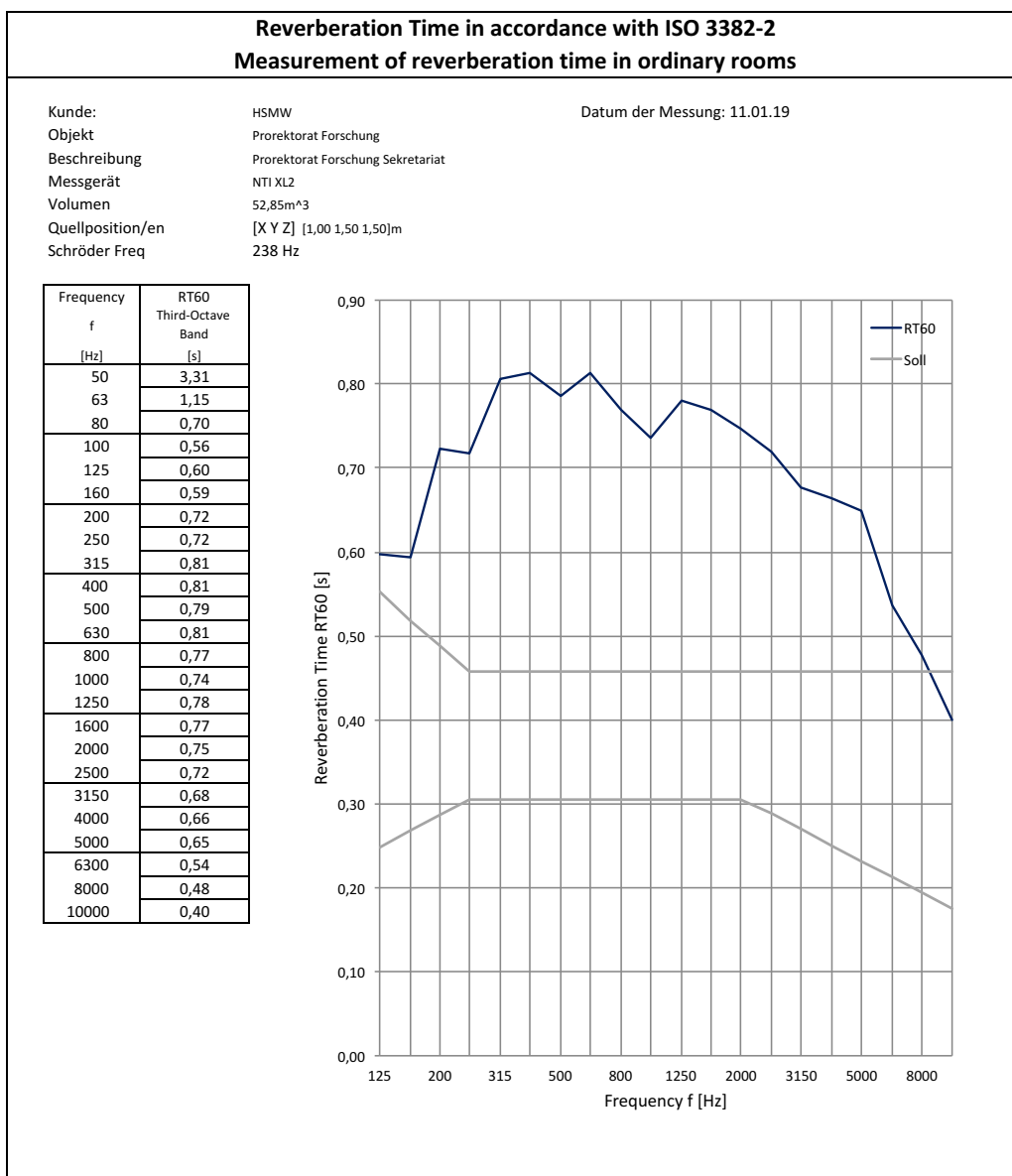
Abbildung 4.1: Zimmer 1 Büro Prorektorat Forschung

## Zimmer 2: Büro Herr Baumgart



**Abbildung 4.2:** Zimmer 2: Büro Herr Baumgart

### Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung



**Abbildung 4.3:** Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung

#### 4.1.5 Interpretation der Ergebnisse

In den oben gezeigten Messergebnissen ist zu sehen, dass alle drei vermessenen Räume zu lange Nachhallzeiten aufweisen. In den mittleren Frequenzen bewegen sich alle Räume im Bereich von 0,7 s und 0,8 s. Dies ist bei dem Volumen und bei der Kommunikationsintensi-

ven Nutzung zu hoch.<sup>1,2</sup> Durch die zu lange Nachhallzeit sind die Räume sehr hallig, dadurch ist die Nutzung als Konferenz-/ Besprechungszimmer stark eingeschränkt. Dies hat sich auch im subjektiven Eindruck der Räume während den Messungen wiedergespiegelt. Die zu langen Nachhallzeiten sorgen für eine Verminderung der Sprachverständlichkeit, was zu einer verminderten Aufmerksamkeit führen kann.

### **Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung**

Die gemessene Nachhallzeit  $T_{60}$  zeigt einen linearen Abfall oberhalb der Schröderfrequenz (215 Hz), mit einem Maximum von 0,94 s bei 500 Hz. Mit Zunahme der Frequenz sinkt die Nachhallzeit auf 0,49 s ab (Abb. 2). Es ergibt sich eine mittlere Nachhallzeit von 0,75 s im relevanten Bereich von 250 Hz bis 8000 Hz. Bei einem Volumen von rund 64 m<sup>3</sup> sollte die mittlere Nachhallzeit bei 0,41s  $\pm$  20% liegen.<sup>1</sup>

Der Abfall der Nachhallzeit bei höher werdenden Frequenzen deutet auf die absorbierende Wirkung des Mobiliars, vor allem der leicht gepolsterten Stühle hin.

### **Zimmer 2: Büro Herr Baumgart**

Ähnlich wie in Zimmer 1 liegt hier die maximale Nachhallzeit mit 0,76 s bei der Mittenfrequenz von 400 Hz. Im Bereich zwischen der Schröderfrequenz (222 Hz) und 3150 Hz ist die Nachhallzeit in etwa gleichbleibend zwischen 0,7 s und 0,76 s. Ab 3150 Hz sinkt die Nachhallzeit auf 0,48 s bei 8000 Hz ab (Abb. 3). Die mittlere Nachhallzeit im relevanten Frequenzbereich, zwischen 250 Hz und 8000 Hz liegt bei 0,68 s. Bei dem Volumen des Raumes von 60,47 m<sup>3</sup> sollte die mittlere Nachhallzeit bei 0,40 s  $\pm$  20% liegen.<sup>1</sup>

Im Vergleich zu Zimmer 1 deutet die kürzere mittlere Nachhallzeit auf ein geringeres Volumen hin. Der Verlauf der Kurve zeigt, dass in Zimmer 2 weniger Textilien vorhanden sind.

### **Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung**

Zimmer 3 mit dem geringsten Volumen von 52,85 m<sup>3</sup> weist die zweithöchste mittlere, sowie maximale Nachhallzeit  $\bar{T}_{60} = 0,72$  s;  $T_{60,max} = 0,81$  s, auf.

---

<sup>1</sup> Nach DIN 18041: 2015-02, Hörsamkeit in Räumen- Vorgaben und Hinweise für die Planung.

<sup>2</sup> Nach ASR A3.7 Lärm, (2018), Technische Regeln für Arbeitsstätten, Ausgabe: Mai 2018, in: Gemeinschaftliches Ministerialblatt vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (GMBI 2018, S.456).

Die Schröderfrequenz liegt bei 238 Hz. Oberhalb davon liegt das Maximum der Nachhallzeit zwischen 315 Hz und 400 Hz (Abb. 4). Ab etwa 1250 Hz fällt die Nachhallzeit relativ linear auf 0,48 s bei 8000 Hz ab. Die mittlere Nachhallzeit sollte bei 0,38 s liegen.<sup>1</sup>

#### **4.1.6 Fazit**

In allen Räumen des Prorektorats Forschung ist die Nachhallzeit über dem Bereich, welcher in der DIN 18041:2015-2 in der Raumkategorie A3 beschrieben wird. Die langen Nachhallzeiten erschweren das Kommunizieren über lange Distanzen. Zur Reduzierung der Nachhallzeiten müssen zusätzliche Absorber installiert werden. Je nach Raum ist hier eine zusätzliche Äquivalente Absorptionsfläche zwischen mindestens 7 m<sup>2</sup> und maximal 18 m<sup>2</sup> notwendig.<sup>3</sup>

---

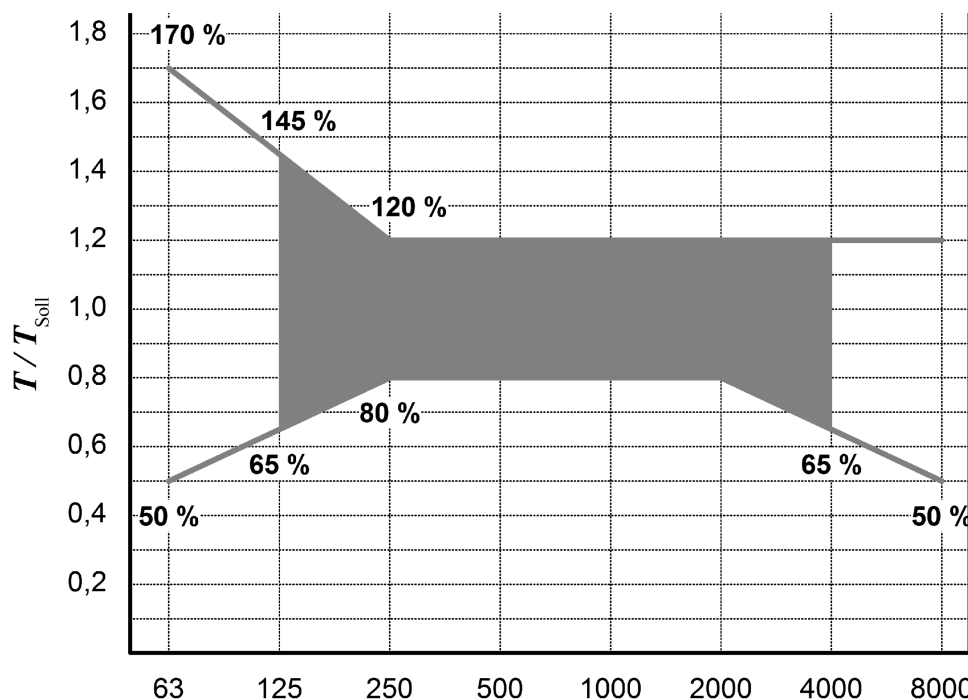
<sup>3</sup> Anhang: Auswertungstabelle



## 4.2 Praktische Vorschläge

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung der Nachhallzeit vorgestellt. Die genannten Produkte und Firmen stehen hier beispielhaft für eine Umsetzung. Die Firma Preform hat Absorptionskurven Ihrer Produkte zur Verfügung gestellt und ist damit mehrfach als praktisches Beispiel vertreten.

In der DIN 18041:2005-2 werden Toleranzbereiche für die Nachhallzeit festgelegt. In Abb. 5 ist der Bereich zu sehen, in dem sich die Nachhallzeiten bewegen können. Die Y-Achse hat die Werte  $T/T_{soll}$ .  $T_{soll}$  wird durch die Formel  $T_{soll,A3} = (0,32 \lg \frac{V}{m^3} - 0,17) s$  berechnet.<sup>4</sup> In Tabelle 3 sind die Absorptionswerte der Verschiedenen Paneele aufgelistet, welche zur weiteren Berechnung verwendet wurden. Bei den angegebenen Absorptionswerten der Hersteller sind nicht alle Frequenzen vertreten, die zur Berechnung benötigt werden. Bei Frequenzen oberhalb der angegebenen Frequenzen habe ich mit einem Schallabsorptionsgrad  $\alpha = 0,8$  verwendet. Da es sich um bespannte poröse Absorber handelt kann dieser Wert als ein Minimum verwendet werden. In der Praxis sind hier Werte von bis zu  $\alpha = 1$  zu erwarten.



**Abbildung 4.4:** Toleranzbereich der Nachhallzeit  $T$  in Abhängigkeit von der Frequenz für die Nutzungsarten A1 bis A4 (DIN 18041:2016-03 S.14)

Tabelle 2: Absorptionswerte nach Frequenzen

Frequenzband Hz	Preform		Renz-Solution	
	Decampo 47mm	Decampo 32mm	Typ 183 38mm	BKA 80mm
	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
63				0,57
80				0,95
100	0,1	0,08	0,11	1,2
125	0,16	0,07	0,11	1
160	0,4	0,19	0,28	1,1
200	0,43	0,29	0,4	1,15
250	0,53	0,37	0,61	1,2
315	0,76	0,5	0,88	1,2
400	0,86	0,61	0,9	1,2
500	0,94	0,73	0,93	1,2
630	1,03	0,82	0,89	1,2
800	1,07	0,9	0,87	1,2
1000	1,11	0,98	0,87	1,2
1250	1	1,04	0,86	1,2
1600	1,11	1,08	0,91	1,2
2000	1,09	1,11	0,96	1,2
2500	1,04	1,11	0,96	1,15
3150	1,02	1,1	0,96	1,1
4000	1	1,01	0,96	0,9
5000	1	1	0,93	

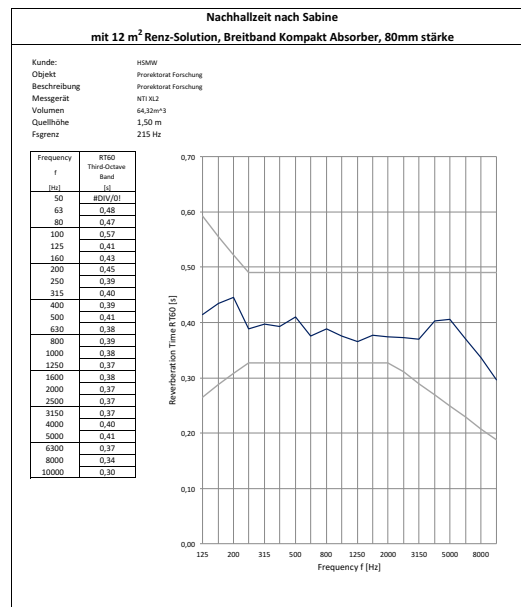
#### 4.2.1 Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung

Wie in Abbildung 4.1: Zimmer 1 Büro Prorektorat Forschung zu erkennen, muss in Zimmer 1 die Nachhallzeit um durchschnittlich

0,34 s abgesenkt werden um auf einen Wert von 0,41 s zu kommen.<sup>4</sup> Mit der Formel für die Nachhallzeit nach Sabine  $T_{60} = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$  und dem gemessenen Volumen von 64,32 m<sup>3</sup> kommt man darauf, dass eine zusätzliche Äquivalente Absorptionsfläche von mindestens 10,2 m<sup>2</sup>

<sup>4</sup> Nach DIN 18041: 2015-02, Hörsamkeit in Räumen- Vorgaben und Hinweise für die Planung.

bei 500 Hz und maximal 17,8 m<sup>2</sup> bei 1250 Hz benötigt wird. Wenn man die Absorptionskurven der verschiedenen Absorber zur Berechnung verwendet (**Tabelle 2: Absorptionswerte nach Frequenzen**) kommt man auf die neuen Nachhallzeiten in Terzbändern. In **Abbildung 4.5: Nachhallzeit in Zimmer 1 mit 12 m<sup>2</sup> Renz BKA, 80mm** ist die berechnete Nachhallzeit mit 12 m<sup>2</sup> Breitband Kompakt Absorber der Firma Renz-Solution dargestellt. Dieser Absorber bringt einen sehr linearen Verlauf der Nachhallzeit und ist somit bestens geeignet für den Raum. Ebenso ist es möglich die Absorber Typ 183, Decampo 47 mm und Decampo 32 mm der Firma Preform zu benutzen. Bei den Decampo Modellen wird zwischen 16 m<sup>2</sup> und 20 m<sup>2</sup> benötigt und sind somit recht aufwendig und kostspielig. Mit 12 m<sup>2</sup> von den Paneelen Typ 183 der Firma Preform werden auch gute Ergebnisse erzielt.



**Abbildung 4.5: Nachhallzeit in Zimmer 1 mit 12 m<sup>2</sup> Renz BKA, 80mm**

## 4.2.2 Zimmer 2: Büro Herr Baumgart

Wie in **Abbildung 4.2: Zimmer 2: Büro Herr Baumgart** zu erkennen, muss in Zimmer 2 die Nachhallzeit um durchschnittlich 0,28 s abgesenkt werden um auf einen Wert von 0,4 s zu kommen.<sup>5</sup> Mit der Formel für die Nachhallzeit nach Sabine  $T_{60} = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$  und dem gemessenen Volumen von 60,47 m<sup>3</sup> kommt man darauf, dass eine zusätzliche Äquivalente Absorptionsfläche von mindestens 7,6 m<sup>2</sup>

bei 500 Hz und maximal 13,3 m<sup>2</sup> bei 315 Hz benötigt wird. Wenn man die Absorptionskurven der verschiedenen Absorber zur Berechnung verwendet (**Tabelle 2: Absorptionswerte**

<sup>5</sup> Nach DIN 18041: 2015-02, Hörsamkeit in Räumen- Vorgaben und Hinweise für die Planung.

nach Frequenzen) kommt man auf die neuen Nachhallzeiten in Terzbändern. In Abbildung 4.6: Nachhallzeit in Zimmer 2 mit 10m<sup>2</sup> Decampo 47mm ist die berechnete Nachhallzeit mit 10 m<sup>2</sup> Decampo 47 mm der Firma Preform dargestellt. Die Anpassung des Nachhalls ist hier Ideal über alle Frequenzen und mit 10 m<sup>2</sup> ist es nicht mit viel Aufwand verbunden die Werte zu erreichen. Mit den anderen Absorbieren ist in dem Zimmer 2 gleichwertige Ergebnisse zu erzielen. Am schlechtesten schneidet hier der Absorber der Firma Renz-Solution ab, da er den Bass zu stark dämpft (siehe Zimmer 2: Büro Herr Baumgart).

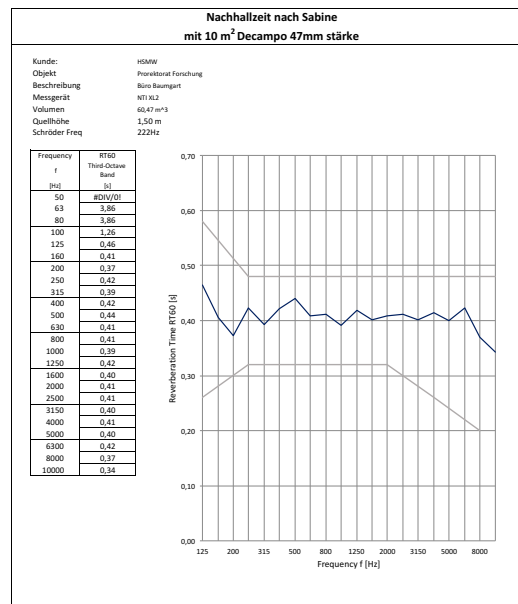


Abbildung 4.6: Nachhallzeit in Zimmer 2 mit 10m<sup>2</sup> Decampo 47mm

### 4.2.3 Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung

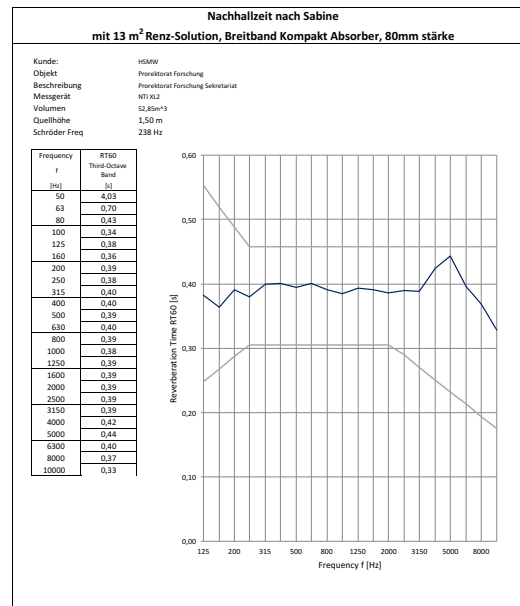
Wie in Abbildung 4.3: Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung zu erkennen, muss in Zimmer 3 die Nachhallzeit um durchschnittlich

0,34 s abgesenkt werden um auf einen Wert von 0,39 s zu kommen.<sup>6</sup> Mit der Formel für die Nachhallzeit nach Sabine  $T_{60} = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$  und dem gemessenen Volumen von 52,85 m<sup>3</sup> kommt man darauf, dass eine zusätzliche Äquivalente Absorptionsfläche von mindestens 8,2 m<sup>2</sup>

bei 630 Hz und maximal 16,2 m<sup>2</sup> bei 250 Hz benötigt wird. Wenn man die Absorptionskurven der verschiedenen Absorber zur Berechnung verwendet (**Tabelle 2: Absorptionswerte nach Frequenzen**) kommt man auf die neuen Nachhallzeiten in Terzbändern. In Abbildung 4.7: Nachhallzeit in Zimmer 3 mit 13 m<sup>2</sup> Renz BKA, 80mm wurden 12 m<sup>2</sup> des Absorbers BKA 80mm der Firma Renz-Solutions verwendet. Die gute Absorption in tiefen Frequenzen führen

<sup>6</sup> Nach DIN 18041: 2015-02, Hörsamkeit in Räumen- Vorgaben und Hinweise für die Planung.

zu einem sehr gleichmäßigen Nachhall über alle Frequenzen. Mit den Produkten der Firma Preform ist der Verlauf der Nachhallzeit, vor allem in tiefen Frequenzen nicht so linear. Der Absorber Typ 183 bringt hier noch die besten Ergebnisse (siehe Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung). Mit  $17 \text{ m}^2$  benötigt man  $4 \text{ m}^2$  mehr Fläche als mit dem Produkt der Firma Renz-Solution. Die Absorber aus der Decampo Linie schneiden, durch die geringe dämpfende Wirkung in den tiefen Frequenzen, schlechter ab. Bei mehr eingebrachter Fläche kommt es zu einem Überdämpfen der Höhen.



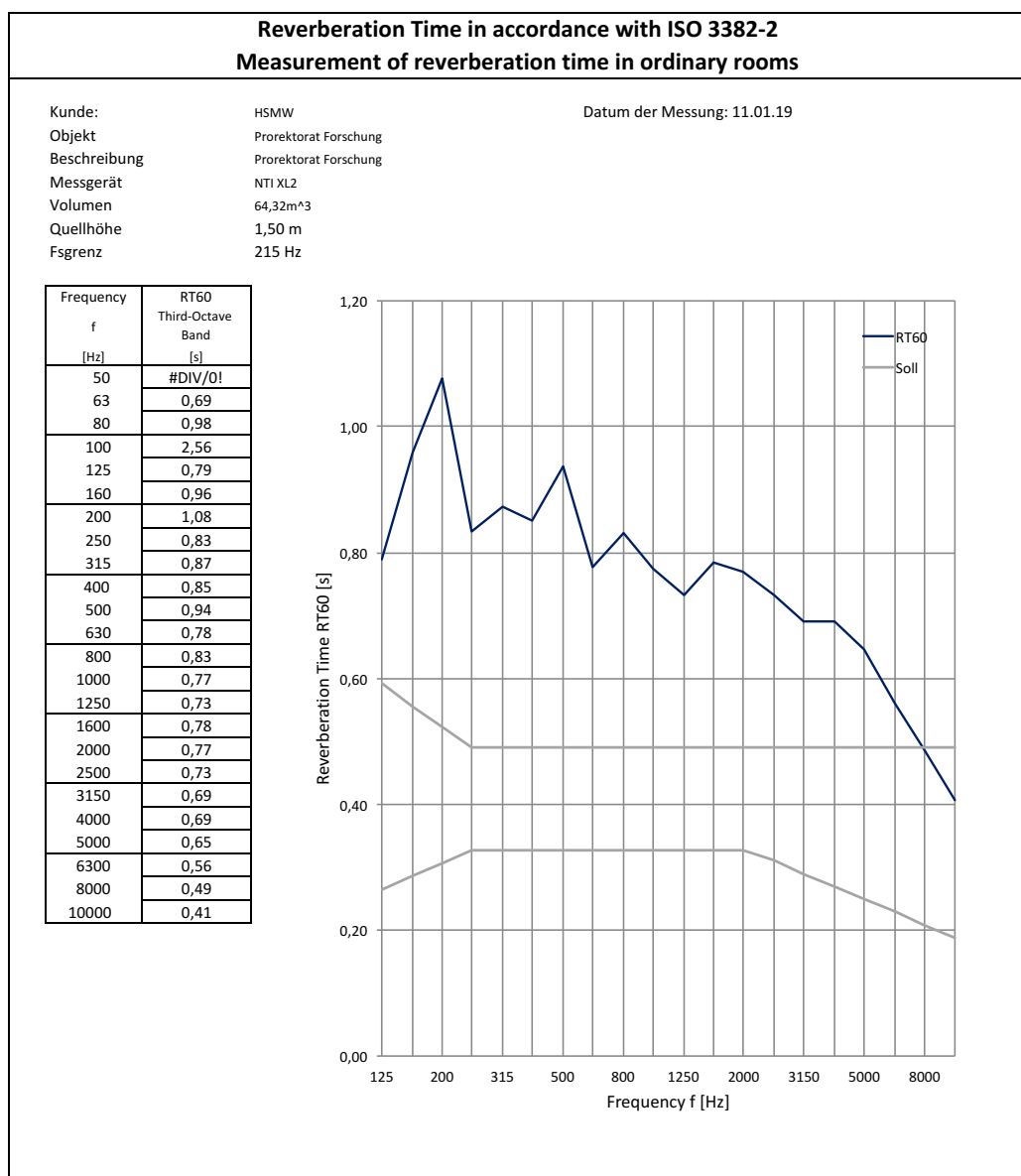
**Abbildung 4.7:** Nachhallzeit in Zimmer 3 mit  $13 \text{ m}^2$  Renz BKA, 80mm

## 5 Anhang

### 5.1 Prorektorat

#### 5.1.1 Auswertung der Nachhallzeiten mit und ohne Absorber

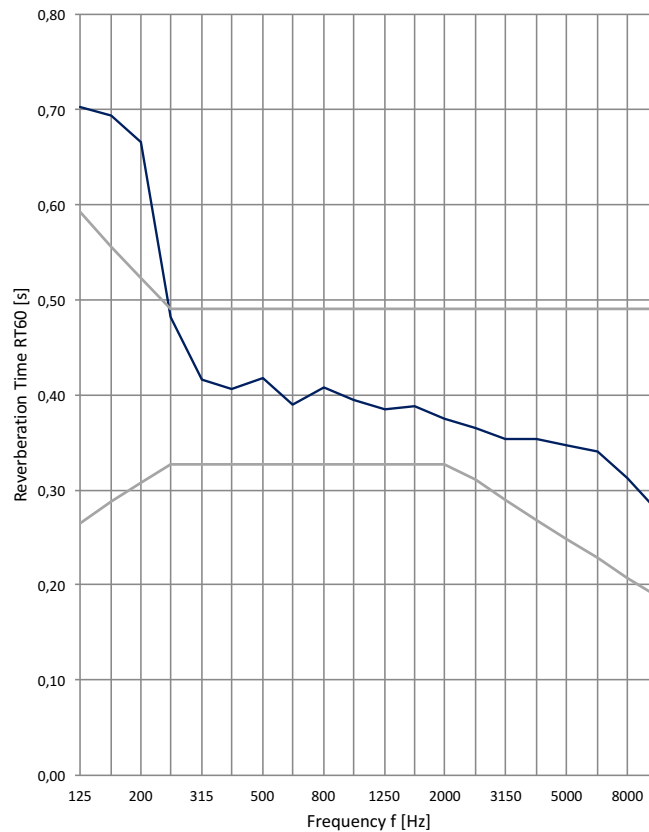
##### Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung



### Nachhallzeit nach Sabine mit 12 m<sup>2</sup> Typ 183, 38mm

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Prorektorat Forschung  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 64,32m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Fsgrenz: 215 Hz

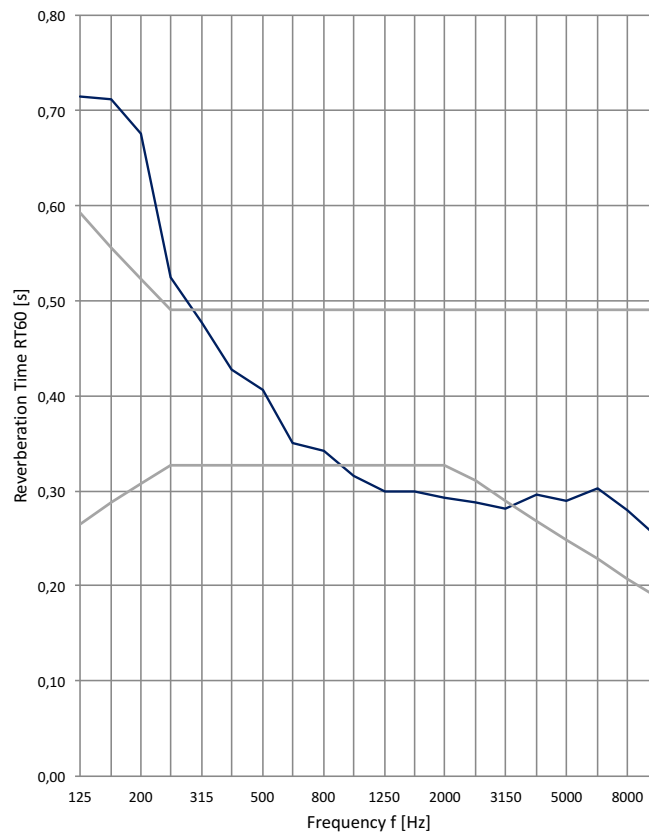
Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	#DIV/0!
63	0,69
80	0,98
100	1,82
125	0,70
160	0,69
200	0,67
250	0,48
315	0,42
400	0,41
500	0,42
630	0,39
800	0,41
1000	0,39
1250	0,39
1600	0,39
2000	0,37
2500	0,37
3150	0,35
4000	0,35
5000	0,35
6300	0,34
8000	0,31
10000	0,28



### Nachhallzeit nach Sabine mit 20 m<sup>2</sup> Decampo 32 mm

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Prorektorat Forschung  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 64,32m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Fsgrenz: 215 Hz

Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	#DIV/0!
63	0,69
80	0,98
100	1,84
125	0,71
160	0,71
200	0,67
250	0,52
315	0,48
400	0,43
500	0,41
630	0,35
800	0,34
1000	0,32
1250	0,30
1600	0,30
2000	0,29
2500	0,29
3150	0,28
4000	0,30
5000	0,29
6300	0,30
8000	0,28
10000	0,25

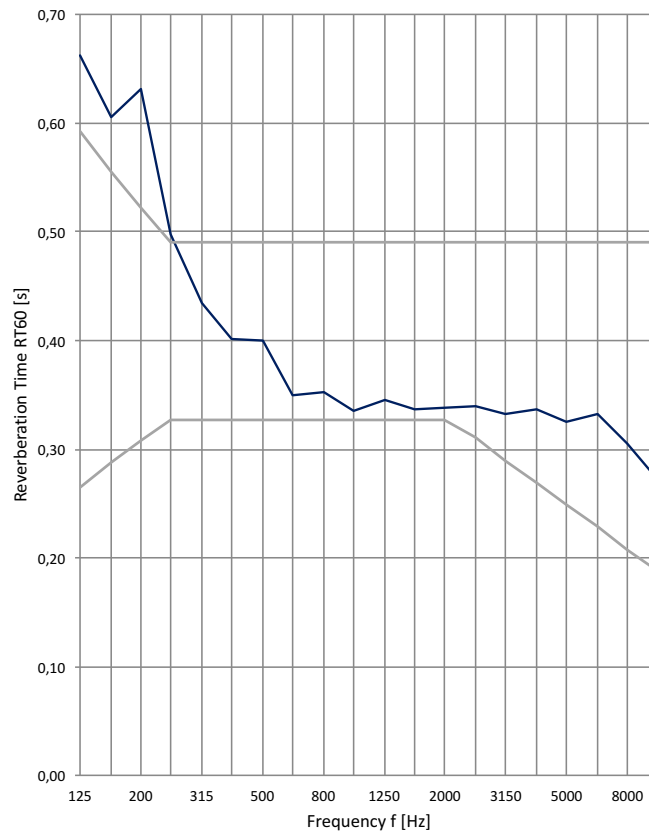


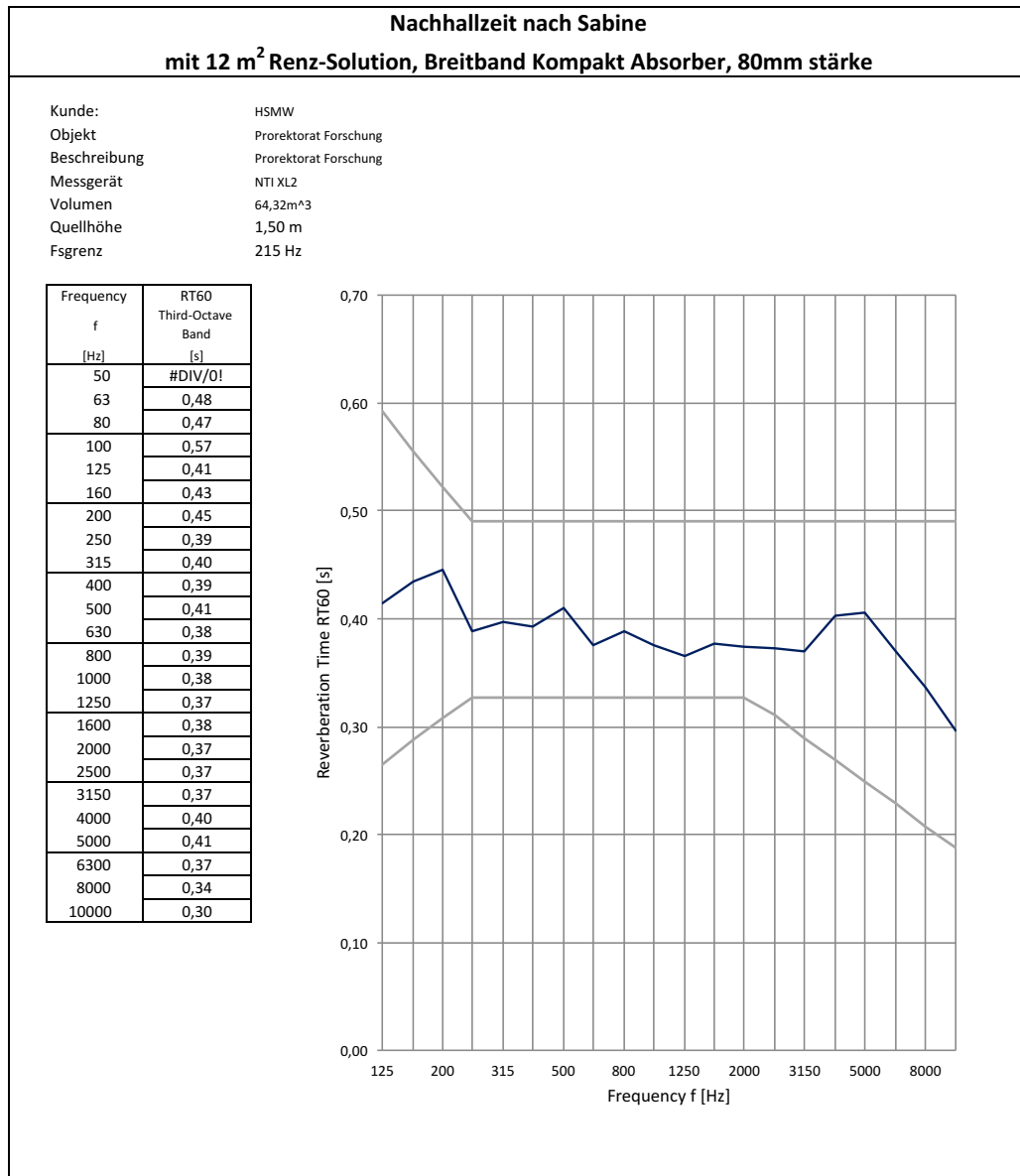


### Nachhallzeit nach Sabine mit 16 m<sup>2</sup> Decampo 47 mm

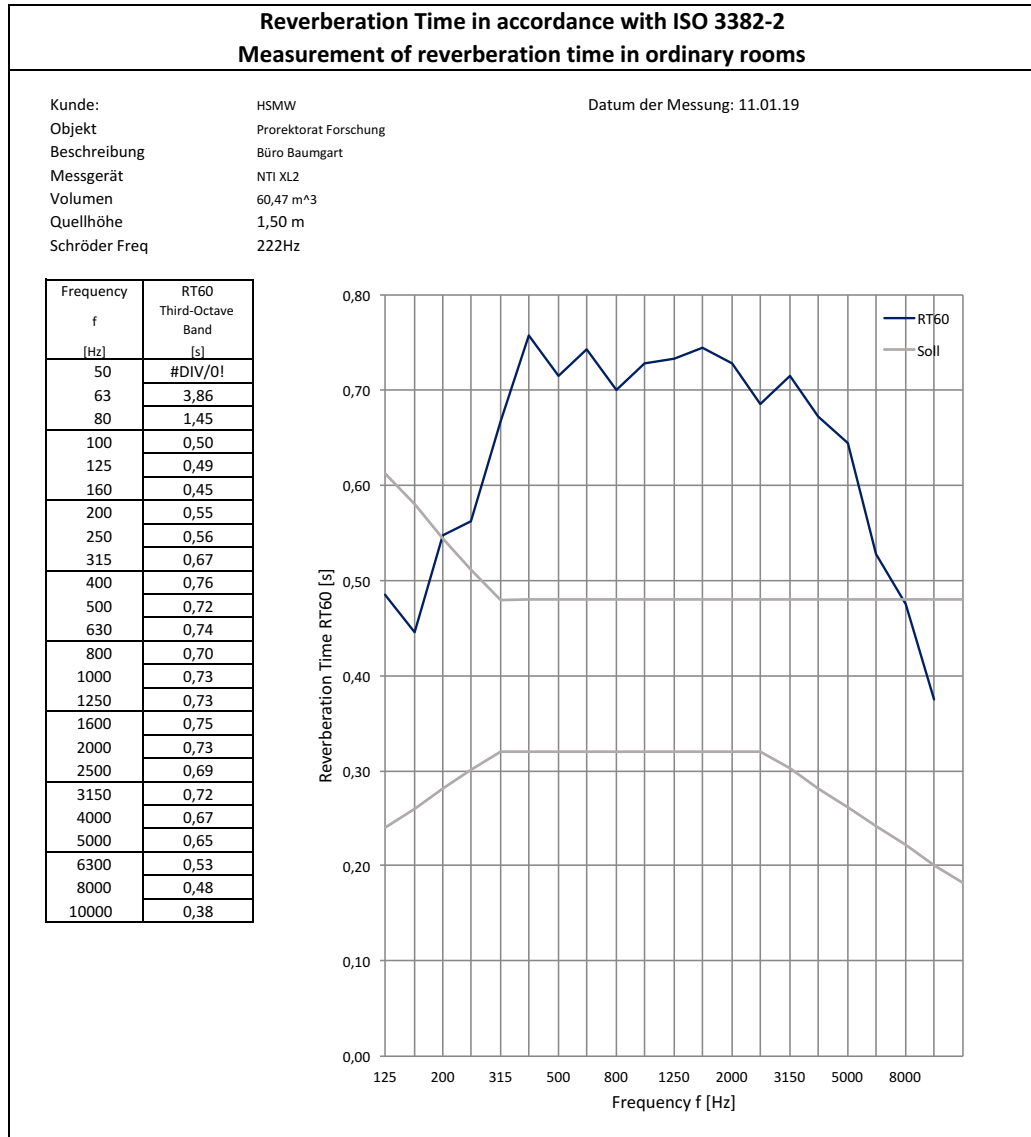
Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Prorektorat Forschung  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 64,32m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Fsgrenz: 215 Hz

Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	#DIV/0!
63	0,69
80	0,98
100	1,84
125	0,66
160	0,61
200	0,63
250	0,50
315	0,43
400	0,40
500	0,40
630	0,35
800	0,35
1000	0,33
1250	0,35
1600	0,34
2000	0,34
2500	0,34
3150	0,33
4000	0,34
5000	0,33
6300	0,33
8000	0,31
10000	0,27





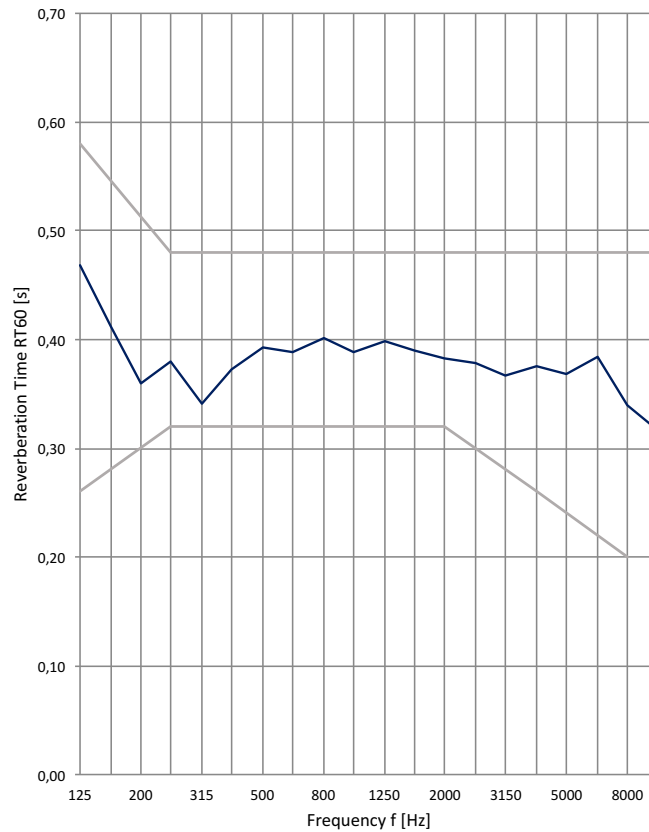
## Zimmer 2: Büro Herr Baumgart



**Nachhallzeit nach Sabine**  
**mit 13 m<sup>2</sup> Preform Typ 183, 38mm stärke**

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Büro Baumgart  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 60,47 m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Schröder Freq: 222Hz

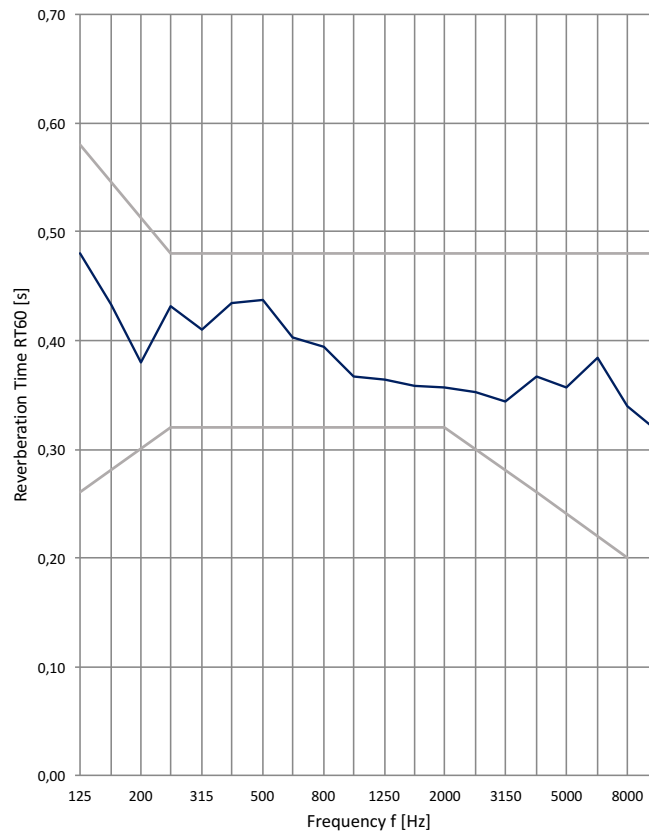
Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	#DIV/0!
63	3,86
80	3,86
100	1,20
125	0,47
160	0,41
200	0,36
250	0,38
315	0,34
400	0,37
500	0,39
630	0,39
800	0,40
1000	0,39
1250	0,40
1600	0,39
2000	0,38
2500	0,38
3150	0,37
4000	0,38
5000	0,37
6300	0,38
8000	0,34
10000	0,32



**Nachhallzeit nach Sabine  
mit 13 m<sup>2</sup> Decampo 32 mm stärke**

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Büro Baumgart  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 60,47 m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Schröder Freq: 222Hz

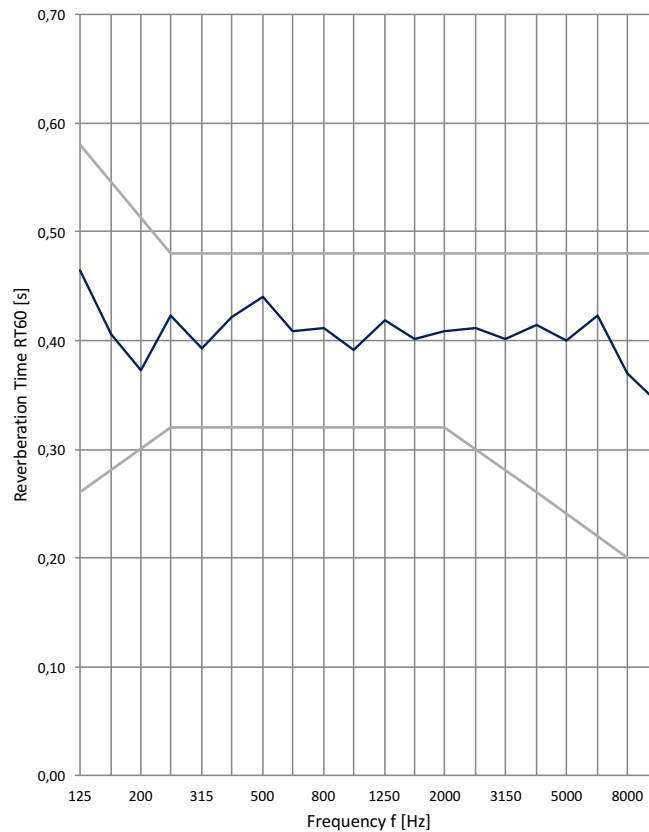
Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	#DIV/0!
63	3,86
80	3,86
100	1,26
125	0,48
160	0,43
200	0,38
250	0,43
315	0,41
400	0,43
500	0,44
630	0,40
800	0,39
1000	0,37
1250	0,36
1600	0,36
2000	0,36
2500	0,35
3150	0,34
4000	0,37
5000	0,36
6300	0,38
8000	0,34
10000	0,32

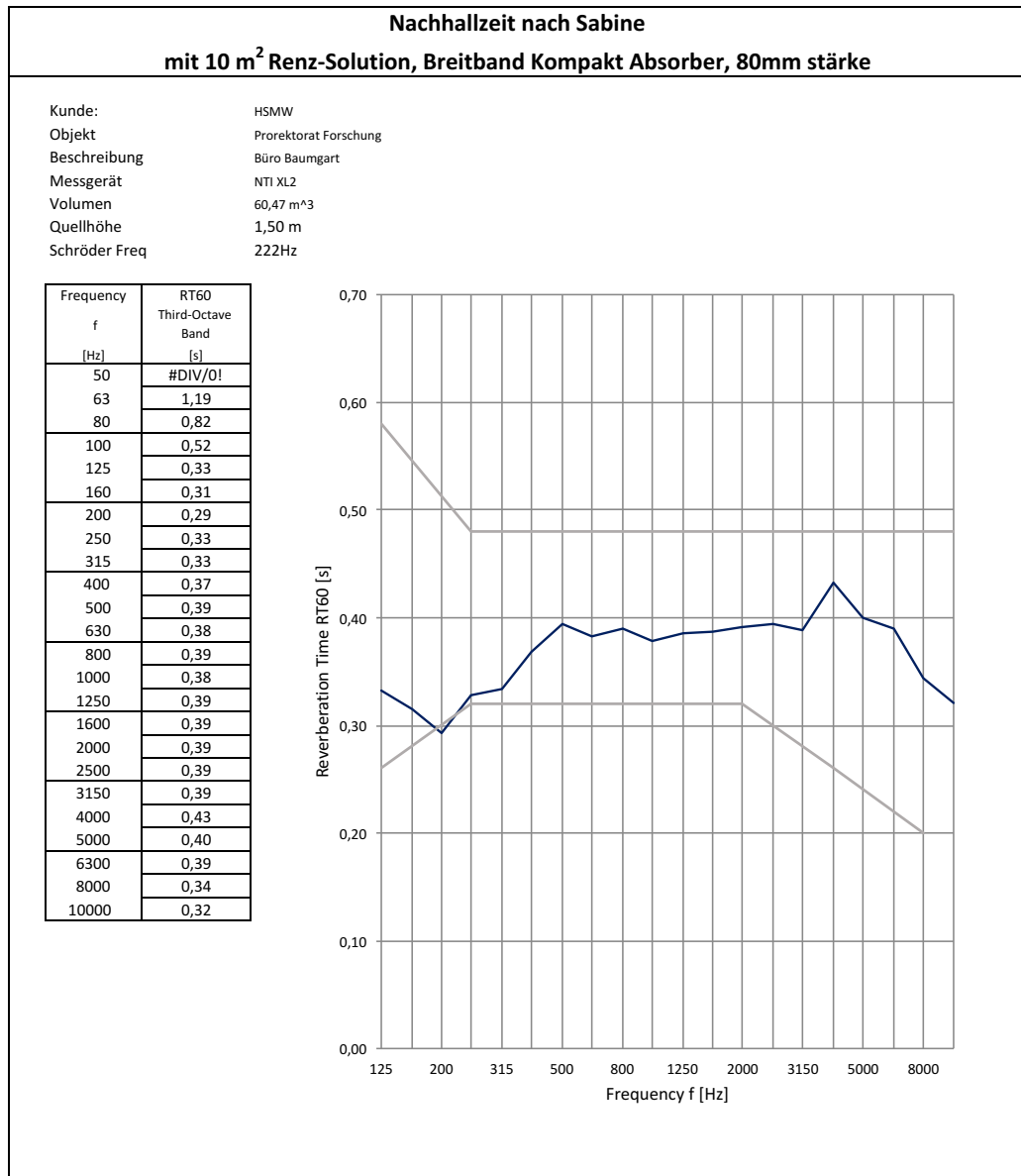


**Nachhallzeit nach Sabine  
mit 10 m<sup>2</sup> Decampo 47mm stärke**

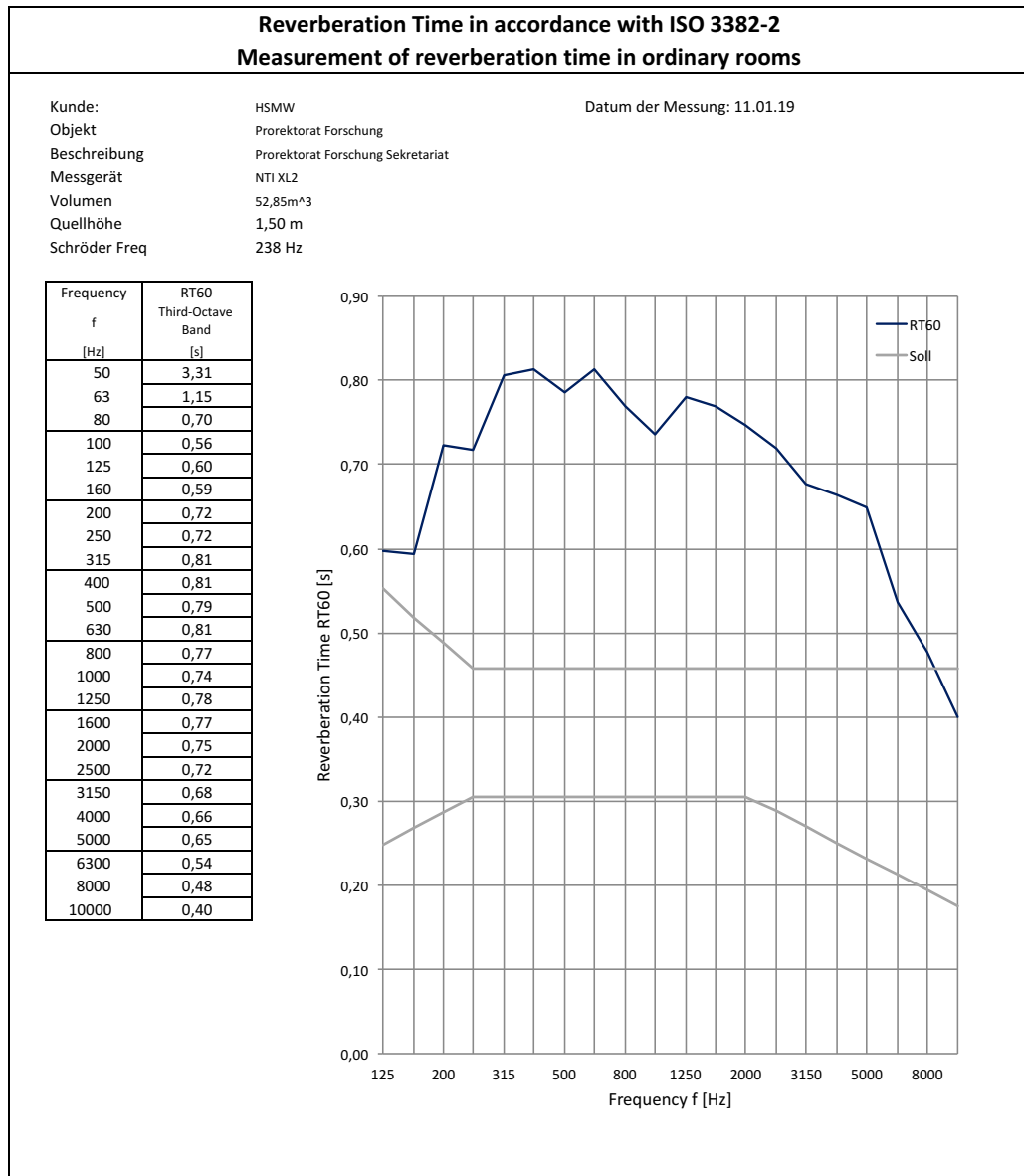
Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Büro Baumgart  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 60,47 m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Schröder Freq: 222Hz

Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	#DIV/0!
63	3,86
80	3,86
100	1,26
125	0,46
160	0,41
200	0,37
250	0,42
315	0,39
400	0,42
500	0,44
630	0,41
800	0,41
1000	0,39
1250	0,42
1600	0,40
2000	0,41
2500	0,41
3150	0,40
4000	0,41
5000	0,40
6300	0,42
8000	0,37
10000	0,34





### Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung

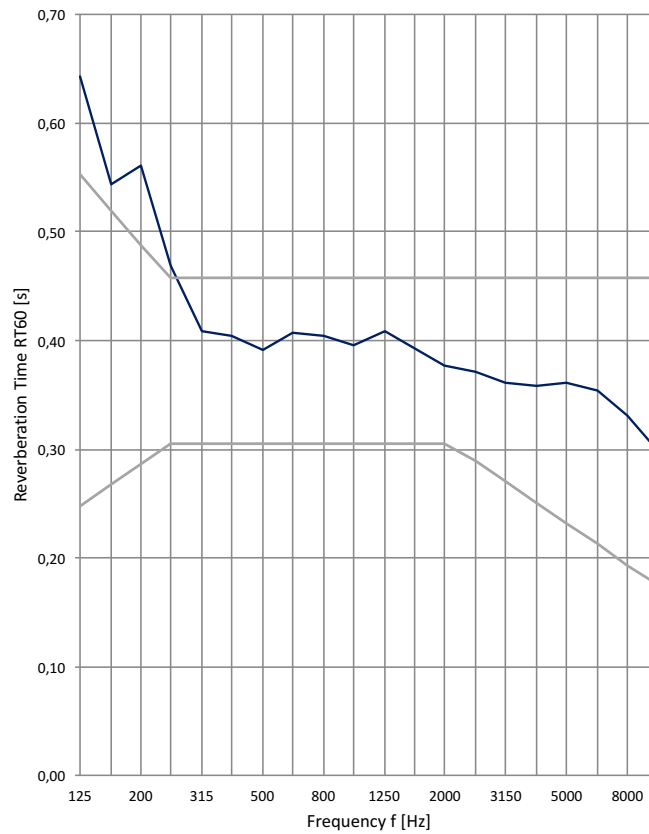




### Nachhallzeit nach Sabine mit 17 m<sup>2</sup> Typ 183, 38 mm

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Prorektorat Forschung Sekretariat  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 52,85m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Schröder Freq: 238 Hz

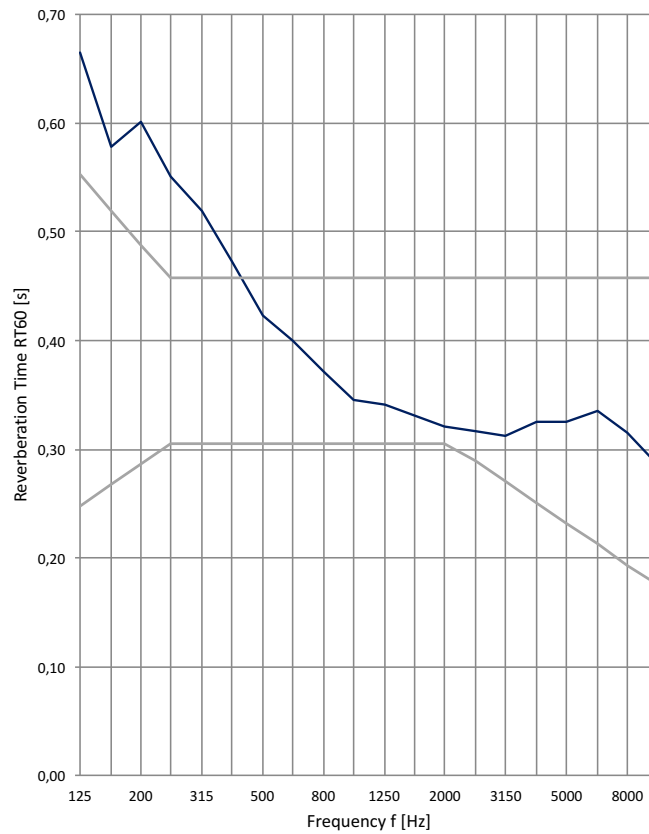
Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	4,03
63	1,39
80	0,86
100	0,61
125	0,64
160	0,54
200	0,56
250	0,47
315	0,41
400	0,40
500	0,39
630	0,41
800	0,40
1000	0,40
1250	0,41
1600	0,39
2000	0,38
2500	0,37
3150	0,36
4000	0,36
5000	0,36
6300	0,35
8000	0,33
10000	0,30



### Nachhallzeit nach Sabine mit 16 m<sup>2</sup> Decampo 32 mm

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Prorektorat Forschung Sekretariat  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 52,85m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Schröder Freq: 238 Hz

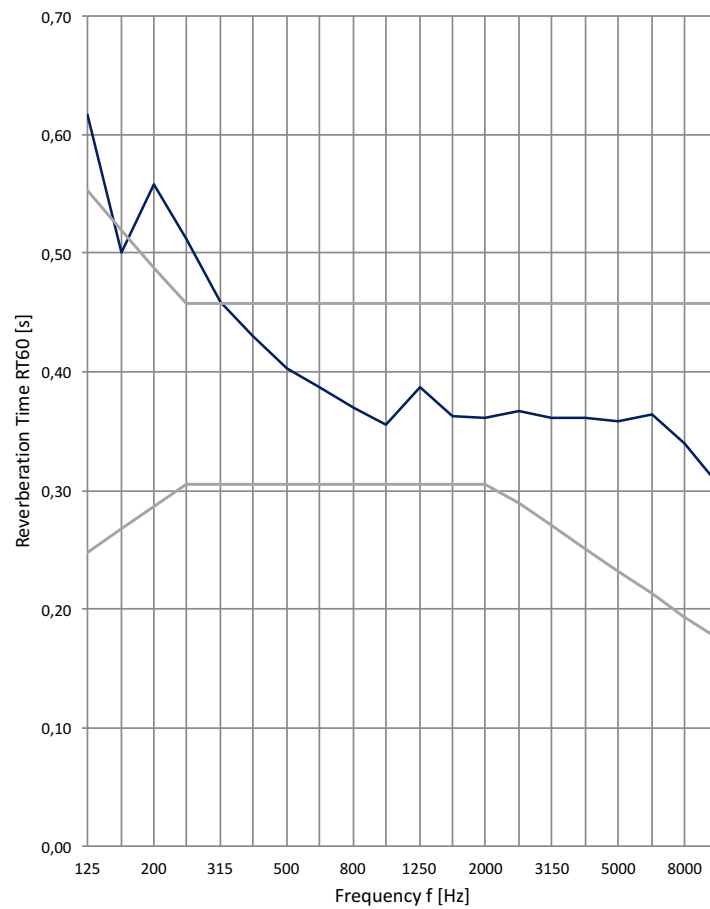
Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	4,03
63	1,39
80	0,86
100	0,62
125	0,66
160	0,58
200	0,60
250	0,55
315	0,52
400	0,47
500	0,42
630	0,40
800	0,37
1000	0,35
1250	0,34
1600	0,33
2000	0,32
2500	0,32
3150	0,31
4000	0,33
5000	0,33
6300	0,34
8000	0,32
10000	0,29

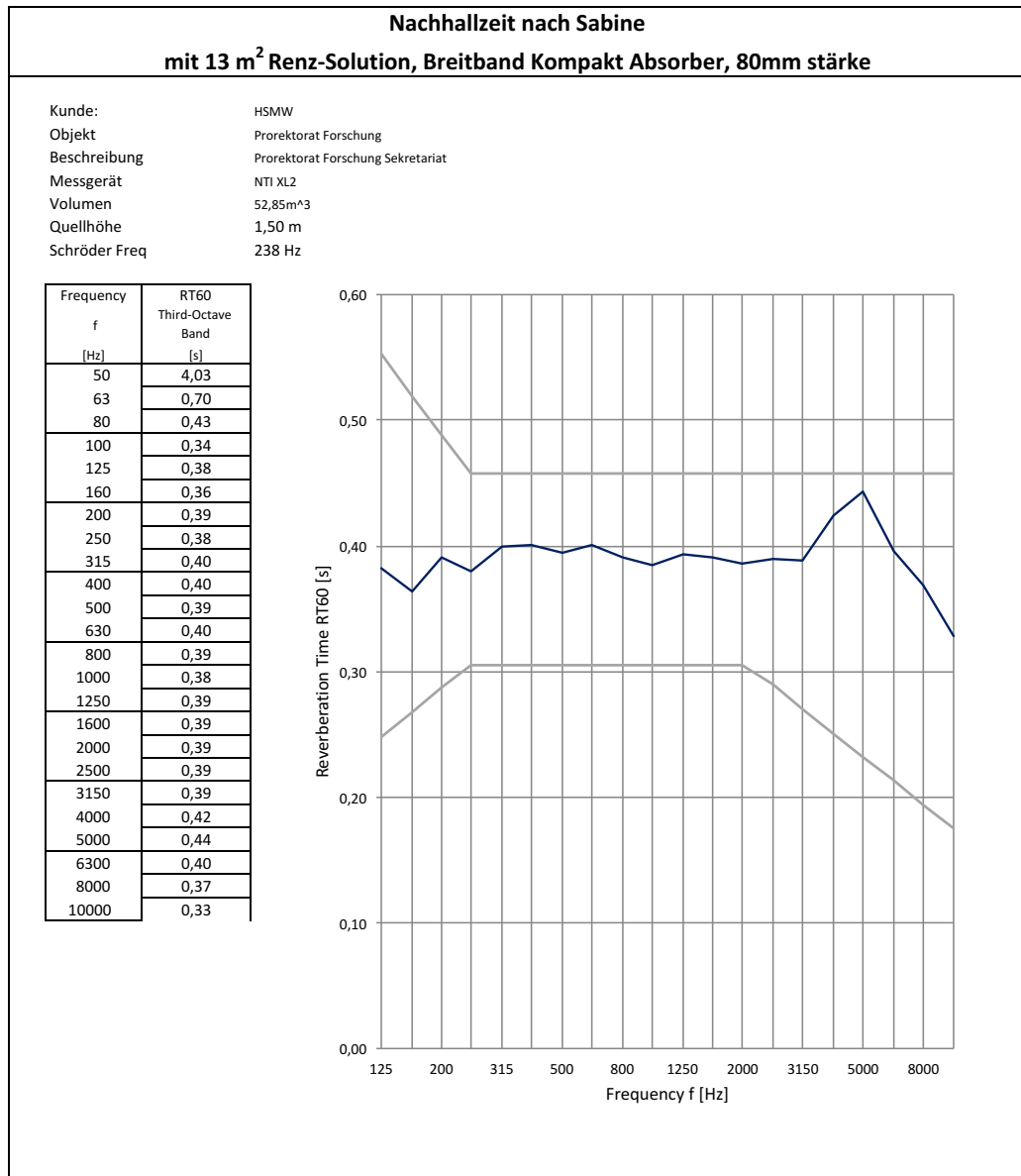


### Nachhallzeit nach Sabine mit 16 m<sup>2</sup> Decampo 47 mm

Kunde: HSMW  
 Objekt: Prorektorat Forschung  
 Beschreibung: Prorektorat Forschung Sekretariat  
 Messgerät: NTI XL2  
 Volumen: 52,85m<sup>3</sup>  
 Quellhöhe: 1,50 m  
 Schröder Freq: 238 Hz

Frequency f [Hz]	RT60 Third-Octave Band [s]
50	4,03
63	1,39
80	0,86
100	0,62
125	0,62
160	0,50
200	0,56
250	0,51
315	0,46
400	0,43
500	0,40
630	0,39
800	0,37
1000	0,36
1250	0,39
1600	0,36
2000	0,36
2500	0,37
3150	0,36
4000	0,36
5000	0,36
6300	0,36
8000	0,34
10000	0,31





## 5.1.2 Messwerte der Räume

### Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung

Band [Hz]	RT60(T20)	MeasUnct	Äquivalente Abs		Zusätzlich		
	[s]	[%]	Ist	Soll max	Soll min	max	min
50	#DIV/0!	#DIV/0!		56,99	14,39	56,99	14,39
63	0,690	52,540	15,19	51,26	15,10	36,07	-0,09
80	0,980	27,890	10,70	46,44	15,92	35,74	5,22
100	2,560	27,595	4,10	42,68	16,76	38,59	12,66
125	0,790	25,083	13,27	39,49	17,69	26,22	4,42
160	0,960	20,357	10,92	36,47	18,86	25,55	7,94
200	1,077	16,957	9,74	34,12	20,05	24,38	10,32
250	0,833	17,260	12,58	32,07	21,38	19,49	8,80
315	0,873	15,077	12,00	32,07	21,38	20,06	9,37
400	0,850	13,360	12,33	32,07	21,38	19,73	9,04
500	0,937	10,857	11,19	32,07	21,38	20,87	10,19
630	0,777	10,960	13,50	32,07	21,38	18,57	7,88
800	0,830	9,570	12,63	32,07	21,38	19,44	8,75
1000	0,773	8,587	13,56	32,07	21,38	18,51	7,82
1250	0,733	8,133	14,30	32,07	21,38	17,77	7,08
1600	0,783	7,170	13,38	32,07	21,38	18,68	7,99
2000	0,770	6,170	13,62	32,07	21,38	18,45	7,76
2500	0,733	5,737	14,30	33,80	21,38	19,50	7,08
3150	0,690	5,047	15,19	36,18	21,38	20,98	6,18
4000	0,690	4,583	15,19	39,02	21,38	23,82	6,18
5000	0,647	4,107	16,21	42,11	21,38	25,89	5,17
6300	0,560	3,973	18,72	45,86	21,38	27,14	2,66
8000	0,487	3,773	21,54	50,52	21,38	28,98	-0,16
10000	0,407	3,643	25,78	55,82	21,38	30,04	-4,40

### Zimmer 2: Büro Herr Baumgart

Band [Hz]	RT60(T20)	MeasUnct	Äquivalente Absfläche:				
	[s]	[%]	Ist	Soll max	Soll min	Zusätzlich max	Zusätzlich min
50	x	#DIV/0!					
63	3,86	28,66	2,55	54,73	13,82	52,17	11,27
80	3,86	33,8233333	2,55	49,23	14,50	46,67	11,95
100	1,45	34,8975	6,80	44,59	15,28	37,79	8,49
125	0,5025	30,4725	19,62	40,99	16,09	21,37	-3,52
160	0,485	27,8725	20,32	37,92	16,99	17,60	-3,33
200	0,445	22,8775	22,15	35,03	18,11	12,88	-4,04
250	0,5475	19,73	18,00	32,76	19,26	14,76	1,26
315	0,5625	16,075	17,52	30,79	20,56	13,27	3,04
400	0,6675	13,6575	14,77	30,79	20,53	16,03	5,76
500	0,7575	12,3	13,01	30,79	20,53	17,78	7,52
630	0,715	10,615	13,79	30,79	20,53	17,01	6,74
800	0,7425	9,7975	13,27	30,79	20,53	17,52	7,25
1000	0,7	8,4525	14,08	30,79	20,53	16,71	6,45
1250	0,7275	7,58	13,55	30,79	20,53	17,25	6,98
1600	0,7325	6,95	13,46	30,79	20,53	17,34	7,07
2000	0,745	6,09	13,23	30,79	20,53	17,56	7,30
2500	0,7275	5,63	13,55	30,79	20,53	17,25	6,98
3150	0,685	5,02	14,39	32,63	20,53	18,25	6,14
4000	0,715	4,4825	13,79	34,95	20,53	21,16	6,74
5000	0,6725	4,085	14,66	37,70	20,53	23,05	5,87
6300	0,645	4,1275	15,28	40,71	20,53	25,43	5,25
8000	0,5275	3,6875	18,69	44,37	20,53	25,68	1,84
10000	0,475	3,8	20,75	48,91	20,53	28,16	-0,22

### Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung

Band [Hz]	RT60(T20) [s]	MeasUnct [%]	Äquivalente Abs		Zusätzlich		
			Ist	Soll max	Soll min	max	min
50	3,310	#DIV/0!	2,60	50,18	12,67	47,58	10,07
63	1,145	32,030	7,52	45,13	13,30	37,61	5,77
80	0,703	36,313	12,25	40,89	14,01	28,64	1,77
100	0,560	32,467	15,38	37,58	14,76	22,20	-0,63
125	0,597	26,643	14,44	34,77	15,58	20,33	1,14
160	0,593	23,887	14,52	32,11	16,61	17,60	2,09
200	0,723	19,883	11,91	30,04	17,66	18,13	5,75
250	0,717	17,190	12,02	28,24	18,82	16,21	6,80
315	0,807	14,517	10,68	28,24	18,82	17,56	8,14
400	0,813	13,010	10,59	28,24	18,82	17,64	8,23
500	0,787	11,610	10,95	28,24	18,82	17,28	7,87
630	0,813	10,200	10,59	28,24	18,82	17,64	8,23
800	0,770	9,383	11,19	28,24	18,82	17,05	7,64
1000	0,737	8,467	11,69	28,24	18,82	16,54	7,13
1250	0,780	7,360	11,04	28,24	18,82	17,19	7,78
1600	0,770	6,687	11,19	28,24	18,82	17,05	7,64
2000	0,747	5,867	11,54	28,24	18,82	16,70	7,29
2500	0,720	5,417	11,96	29,76	18,82	17,80	6,86
3150	0,677	5,053	12,73	31,86	18,82	19,12	6,09
4000	0,663	4,410	12,99	34,36	18,82	21,37	5,84
5000	0,650	4,037	13,25	37,07	18,82	23,82	5,57
6300	0,537	4,000	16,05	40,38	18,82	24,33	2,77
8000	0,477	3,720	18,07	44,49	18,82	26,41	0,75
10000	0,400	3,637	21,54	49,15	18,82	27,61	-2,71

## 5.1.3 Berechnung der Äquivalenten Absorptionsflächen

### Zimmer 1: Büro Prorektorat Forschung

Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 20 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
		min	max			
Decampo 32mm	50					
	63				15,19	0,69
	80				10,70	0,98
	100	158,29	482,34	1,6	5,70	1,84
	125	63,20	374,57	1,4	14,67	0,71
	160	41,79	134,49	3,8	14,72	0,71
fs=215Hz	200	35,58	84,07	5,8	15,54	0,67
	250	23,78	52,67	7,4	19,98	0,52
min 23 m <sup>2</sup>	315	18,75	40,13	10	22,00	0,48
max 17m <sup>2</sup>	400	14,83	32,35	12,2	24,53	0,43
nicht möglich!	500	13,95	28,60	14,6	25,79	0,41
	630	9,61	22,65	16,4	29,90	0,35
	800	9,72	21,60	18	30,63	0,34
	1000	7,98	18,89	19,6	33,16	0,32
	1250	6,81	17,09	20,8	35,10	0,30
	1600	7,40	17,30	21,6	34,98	0,30
	2000	6,99	16,62	22,2	35,82	0,29
	2500	6,38	17,57	22,2	36,50	0,29
	3150	5,62	19,08	22	37,19	0,28
	4000	6,12	23,59	20,2	35,39	0,30
Angenommen:	5000	5,17	25,89	20	36,21	0,29
α=0,8; f>5kHz	6300			16	34,72	0,30
	8000			16	37,54	0,28
	10000			16	41,78	0,25

Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 16 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s	
		min	max				
Decampo 47mm	50			16			
	63				15,19	0,69	
	80				10,70	0,98	
	100	126,63	385,87	1,6	5,70	1,84	
	125	27,65	163,87	2,56	15,83	0,66	
	160	19,85	63,88	6,4	17,32	0,61	
	fs=215Hz	200	23,99	56,70	6,88	16,62	0,63
		250	16,60	36,77	8,48	21,06	0,50
	min 16 m <sup>2</sup>	315	12,33	26,40	12,16	24,16	0,43
	max 16m <sup>2</sup>	400	10,52	22,95	13,76	26,09	0,40
	500	10,84	22,21	15,04	26,23	0,40	
	630	7,65	18,03	16,48	29,98	0,35	
	800	8,17	18,16	17,12	29,75	0,35	
	1000	7,05	16,68	17,76	31,32	0,33	
	1250	7,08	17,77	16	30,30	0,35	
	1600	7,20	16,83	17,76	31,14	0,34	
	2000	7,12	16,93	17,44	31,06	0,34	
	2500	6,81	18,75	16,64	30,94	0,34	
	3150	6,06	20,57	16,32	31,51	0,33	
	4000	6,18	23,82	16	31,19	0,34	
Angenommen:	5000	5,17	25,89	16	32,21	0,33	
α=0,8; f>5kHz	6300			12,8	31,52	0,33	
	8000			12,8	34,34	0,31	
	10000			12,8	38,58	0,27	

Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 15 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s	
		min	max				
Typ 183 38mm	50						
	63				15,19	0,69	
	80				10,70	0,98	
	100	115,12	350,79	1,65	5,75	1,82	
	125	40,22	238,36	1,65	14,92	0,70	
	160	28,36	91,26	4,2	15,12	0,69	
	fs=215Hz	200	25,79	60,95	6	15,74	0,67
		250	14,42	31,95	9,15	21,73	0,48
	min 14 m <sup>2</sup>	315	10,65	22,80	13,2	25,20	0,42
	max 19m <sup>2</sup>	400	10,05	21,93	13,5	25,83	0,41
	500	10,95	22,45	13,95	25,14	0,42	
	630	8,85	20,86	13,35	26,85	0,39	
	800	10,05	22,34	13,05	25,68	0,41	
	1000	8,99	21,28	13,05	26,61	0,39	
	1250	8,23	20,66	12,9	27,20	0,39	
	1600	8,79	20,53	13,65	27,03	0,39	
	2000	8,09	19,22	14,4	28,02	0,37	
	2500	7,38	20,32	14,4	28,70	0,37	
	3150	6,44	21,86	14,4	29,59	0,35	
	4000	6,44	24,82	14,4	29,59	0,35	
Angenommen:	5000	5,55	27,84	13,95	30,16	0,35	
α=0,8; f>5kHz	6300			12	30,72	0,34	
	8000			12	33,54	0,31	
	10000			12	37,78	0,28	

Renz-Solution	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 12 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s	
		min	max				
BKA;80mm	50			12			
	63	-0,16	63,28	6,84	22,03	0,48	
	80	5,49	37,62	11,4	22,10	0,47	
	100	10,55	32,16	14,4	18,50	0,57	
	125	4,42	26,22	12	25,27	0,41	
	160	7,22	23,23	13,2	24,12	0,43	
	fs=215Hz	200	8,97	21,20	13,8	23,54	0,45
		250	7,33	16,24	14,4	26,98	0,39
	min 9 m <sup>2</sup>	315	7,81	16,72	14,4	26,40	0,40
	max 14m <sup>2</sup>	400	7,54	16,44	14,4	26,73	0,39
	500	8,49	17,40	14,4	25,59	0,41	
	630	6,57	15,47	14,4	27,90	0,38	
	800	7,29	16,20	14,4	27,03	0,39	
	1000	6,52	15,43	14,4	27,96	0,38	
	1250	5,90	14,81	14,4	28,70	0,37	
	1600	6,66	15,57	14,4	27,78	0,38	
	2000	6,47	15,38	14,4	28,02	0,37	
	2500	6,16	16,96	13,8	28,10	0,37	
	3150	5,62	19,08	13,2	28,39	0,37	
	4000	6,87	26,47	10,8	25,99	0,40	
Angenommen:	5000			9,6	25,81	0,41	
α=0,8; f>4kHz	6300			9,6	28,32	0,37	
	8000			9,6	31,14	0,34	
	10000			9,6	35,38	0,30	

## Zimmer 2: Büro Herr Baumgart

Renz-Solution		http://www.renz-solution		mit 10m <sup>2</sup>			
BKA;80mm	alpha	m <sup>2</sup> zusätzlich		A zusatz	Agesneu	T60neu	
		min	max				
50							
63	0,57	19,77	91,53	5,7	8,25	1,194	
80	0,95	12,58	49,13	9,5	12,05	0,818	
100	1,2	7,07	31,50	12	18,80	0,524	
125	1	-3,52	21,37	10	29,62	0,333	
160	1,1	-3,03	16,00	11	31,32	0,315	
200	1,15	-3,51	11,20	11,5	33,65	0,293	
250	1,2	1,05	12,30	12	30,00	0,329	
315	1,2	2,53	11,06	12	29,52	0,334	
400	1,2	4,80	13,36	12	26,77	0,368	
500	1,2	6,26	14,82	12	25,01	0,394	
630	1,2	5,62	14,17	12	25,79	0,382	
800	1,2	6,05	14,60	12	25,27	0,390	
1000	1,2	5,37	13,93	12	26,08	0,378	
1250	1,2	5,82	14,37	12	25,55	0,386	
1600	1,2	5,89	14,45	12	25,46	0,387	
2000	1,2	6,08	14,64	12	25,23	0,391	
2500	1,15	6,07	15,00	11,5	25,05	0,393	
3150	1,1	5,58	16,59	11	25,39	0,388	
4000	0,9	7,49	23,51	9	22,79	0,433	
5000	1	5,87	23,05	10	24,66	0,400	
6300	1	5,25	25,43	10	25,28	0,390	
8000	1	1,84	25,68	10	28,69	0,344	
10000	1	-0,22	28,16	10	30,75	0,321	

Preform	Band	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 10 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
Decampo 47mm	[Hz]	min	max			
	50					
	63				2,55	3,86
	80				2,55	3,86
	100	84,87	377,95	1	7,80	1,26
	125	-22,01	133,58	1,6	21,22	0,46
	160	-8,33	44,00	4	24,32	0,41
fs=222Hz	200	-9,39	29,94	4,3	26,45	0,37
	250	2,37	27,85	5,3	23,30	0,42
min 8m <sup>2</sup>	315	4,00	17,46	7,6	25,12	0,39
max 17m <sup>2</sup>	400	6,70	18,64	8,6	23,37	0,42
	500	8,00	18,92	9,4	22,41	0,44
	630	6,55	16,51	10,3	24,09	0,41
	800	6,78	16,37	10,7	23,97	0,41
	1000	5,81	15,06	11,1	25,18	0,39
	1250	6,98	17,25	10	23,55	0,42
	1600	6,37	15,62	11,1	24,56	0,40
	2000	6,70	16,11	10,9	24,13	0,41
	2500	6,71	16,58	10,4	23,95	0,41
	3150	6,02	17,89	10,2	24,59	0,40
	4000	6,74	21,16	10	23,79	0,41
Angenommen:	5000	5,87	23,05	10	24,66	0,40
α=0,8; f>5kHz	6300			8	23,28	0,42
	8000			8	26,69	0,37
	10000			8	28,75	0,34

Preform	Band	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 13 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
Decampo 32mm	[Hz]	min	max			
	50					
	63				2,55	3,86
	80				2,55	3,86
	100	106,08	472,43	1,04	7,84	1,26
	125	-50,31	305,33	0,91	20,53	0,48
	160	-17,53	92,63	2,47	22,79	0,43
fs=222Hz	200	-13,92	44,40	3,77	25,92	0,38
	250	3,39	39,89	4,81	22,81	0,43
min 11 m <sup>2</sup>	315	6,08	26,54	6,5	24,02	0,41
max 15m <sup>2</sup>	400	9,45	26,28	7,93	22,70	0,43
	500	10,30	24,36	9,49	22,50	0,44
	630	8,22	20,74	10,66	24,45	0,40
	800	8,06	19,47	11,7	24,97	0,39
	1000	6,58	17,05	12,74	26,82	0,37
	1250	6,71	16,58	13,52	27,07	0,36
	1600	6,55	16,05	14,04	27,50	0,36
	2000	6,58	15,82	14,43	27,66	0,36
	2500	6,29	15,54	14,43	27,98	0,35
	3150	5,58	16,59	14,3	28,69	0,34
	4000	6,68	20,95	13,13	26,92	0,37
Angenommen:	5000	5,87	23,05	13	27,66	0,36
α=0,8; f>5kHz	6300			10,4	25,68	0,38
	8000			10,4	29,09	0,34
	10000			10,4	31,15	0,32



Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 13 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
		min	max			
Typ 183; 38 mm	50					
	63				2,55	3,86
	80				2,55	3,86
	100	77,15	343,59	1,43	8,23	1,20
	125	-32,02	194,30	1,43	21,05	0,47
	160	-11,90	62,86	3,64	23,96	0,41
fs=222Hz	200	-10,09	32,19	5,2	27,35	0,36
	250	2,06	24,20	7,93	25,93	0,38
min 9 m <sup>2</sup>	315	3,45	15,08	11,44	28,96	0,34
max 15m <sup>2</sup>	400	6,40	17,81	11,7	26,47	0,37
	500	8,08	19,12	12,09	25,10	0,39
	630	7,58	19,11	11,57	25,36	0,39
	800	8,34	20,14	11,31	24,58	0,40
	1000	7,41	19,21	11,31	25,39	0,39
	1250	8,12	20,05	11,18	24,73	0,40
	1600	7,77	19,05	11,83	25,29	0,39
	2000	7,60	18,30	12,48	25,71	0,38
	2500	7,27	17,96	12,48	26,03	0,38
	3150	6,40	19,01	12,48	26,87	0,37
	4000	7,03	22,04	12,48	26,27	0,38
Angenommen:	5000	6,32	24,78	12,09	26,75	0,37
α=0,8; f>5kHz	6300			10,4	25,68	0,38
	8000			10,4	29,09	0,34
	10000			10,4	31,15	0,32

### Zimmer 3: Sekretariat Prorektorat Forschung

Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 16 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
		min	max			
Decampo 47mm	50			16		
	63				2,60	4,03
	80				7,52	1,39
	100				12,25	0,86
	125	-6,28	221,98	1,6	16,98	0,62
	160	7,14	127,08	2,56	17,00	0,62
	200	5,22	43,99	6,4	20,92	0,50
fs=238Hz	250	13,37	42,16	6,88	18,79	0,56
	315	12,84	30,59	8,48	20,50	0,51
min 13 m <sup>2</sup>	400	10,72	23,10	12,16	22,84	0,46
max 15m <sup>2</sup>	500	9,57	20,52	13,76	24,35	0,43
	630	8,38	18,39	15,04	25,99	0,40
	800	7,99	17,13	16,48	27,07	0,39
	1000	7,14	15,93	17,12	28,31	0,37
	1250	6,42	14,90	17,76	29,45	0,36
	1600	7,78	17,19	16	27,04	0,39
	2000	6,88	15,36	17,76	28,95	0,36
	2500	6,68	15,32	17,44	28,98	0,36
	3150	6,60	17,11	16,64	28,60	0,37
	4000	5,97	18,75	16,32	29,05	0,36
	5000	5,84	21,37	16	28,99	0,36
Angenommen:	6300	5,57	23,82	16	29,25	0,36
α=0,8; f>5kHz	8000			12,8	28,85	0,36
	10000			12,8	30,87	0,34
				12,8	34,34	0,31

Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 19 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
		min	max			
Decampo 32mm	50			19	2,60	4,03
	63				7,52	1,39
	80				12,25	0,86
	100	-7,84	277,48	1,52	16,90	0,62
	125	16,32	290,48	1,33	15,77	0,66
	160	10,99	92,61	3,61	18,13	0,58
fs=238Hz	200	19,82	62,52	5,51	17,42	0,60
	250	18,39	43,82	7,03	19,05	0,55
min 18 m <sup>2</sup>	315	16,29	35,11	9,5	20,18	0,52
max 15m <sup>2</sup>	400	13,49	28,92	11,59	22,18	0,47
	500	10,78	23,68	13,87	24,82	0,42
	630	10,04	21,52	15,58	26,17	0,40
	800	8,48	18,94	17,1	28,29	0,37
	1000	7,28	16,88	18,62	30,31	0,35
	1250	7,48	16,53	19,76	30,80	0,34
	1600	7,07	15,78	20,52	31,71	0,33
	2000	6,56	15,04	21,09	32,63	0,32
	2500	6,18	16,03	21,09	33,05	0,32
	3150	5,54	17,39	20,9	33,63	0,31
	4000	5,78	21,16	19,19	32,18	0,33
Angenommen:	5000	5,57	23,82	19	32,25	0,33
α=0,8; f>5kHz	6300			15,2	31,25	0,34
	8000			15,2	33,27	0,32
	10000			15,2	36,74	0,29

Preform	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 17 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
		min	max			
Typ 183; 38mm	50			17	2,60	4,03
	63				7,52	1,39
	80				12,25	0,86
	100	-5,71	201,80	1,87	17,25	0,61
	125	10,38	184,85	1,87	16,31	0,64
	160	7,46	62,84	4,76	19,28	0,54
fs=238Hz	200	14,37	45,33	6,8	18,71	0,56
	250	11,15	26,58	10,37	22,39	0,47
min 11 m <sup>2</sup>	315	9,25	19,95	14,96	25,64	0,41
max 17m <sup>2</sup>	400	9,15	19,60	15,3	25,89	0,40
	500	8,47	18,59	15,81	26,76	0,39
	630	9,25	19,82	15,13	25,72	0,41
	800	8,78	19,59	14,79	25,98	0,40
	1000	8,19	19,01	14,79	26,48	0,40
	1250	9,05	19,99	14,62	25,66	0,41
	1600	8,39	18,73	15,47	26,66	0,39
	2000	7,59	17,39	16,32	27,86	0,38
	2500	7,14	18,54	16,32	28,28	0,37
	3150	6,35	19,92	16,32	29,05	0,36
	4000	6,08	22,26	16,32	29,31	0,36
Angenommen:	5000	5,99	25,61	15,81	29,06	0,36
α=0,8; f>5kHz	6300			13,6	29,65	0,35
	8000			13,6	31,67	0,33
	10000			13,6	35,14	0,30

Renz-Solution	Band [Hz]	Azusatz/m <sup>2</sup>		mit 13 m <sup>2</sup>	Ages neu	T60 neu /s
		min	max			
BKA; 80 mm	50			13	2,60	4,03
	63	10,13	65,98	7,41	14,93	0,70
	80	1,86	30,15	12,35	24,60	0,43
	100	-0,52	18,50	15,6	30,98	0,34
	125	1,14	20,33	13	27,44	0,38
	160	1,90	16,00	14,3	28,82	0,36
fs=238Hz	200	5,00	15,77	14,95	26,86	0,39
	250	5,67	13,51	15,6	27,62	0,38
min 7 m <sup>2</sup>	315	6,79	14,63	15,6	26,28	0,40
max 13m <sup>2</sup>	400	6,86	14,70	15,6	26,19	0,40
	500	6,56	14,40	15,6	26,55	0,39
	630	6,86	14,70	15,6	26,19	0,40
	800	6,36	14,21	15,6	26,79	0,39
	1000	5,94	13,78	15,6	27,29	0,38
	1250	6,48	14,33	15,6	26,64	0,39
	1600	6,36	14,21	15,6	26,79	0,39
	2000	6,07	13,91	15,6	27,14	0,39
	2500	5,96	15,47	14,95	26,91	0,39
	3150	5,54	17,39	14,3	27,03	0,39
	4000	6,49	23,74	11,7	24,69	0,42
Angenommen:	5000			10,4	23,65	0,44
α=0,8; f>4kHz	6300			10,4	26,45	0,40
	8000			10,4	28,47	0,37
	10000			10,4	31,94	0,33

## 5.1.4 Messdaten der Absorber



MFPA Leipzig GmbH  
Bauphysik

PB 4.2/14-328-2  
vom 11. September 2014

Anlage 1  
Seite 1 von 1

### Schallabsorptionsgrad nach ISO 354:2003

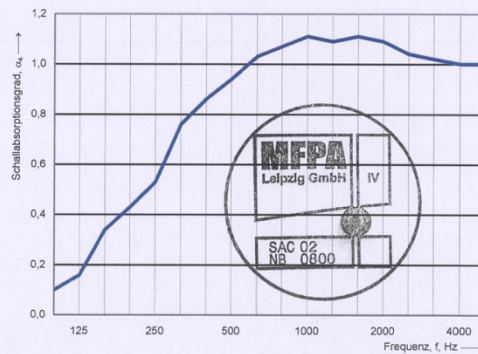
Messung der Schallabsorption im Hallraum

Auftraggeber: PREFORM GmbH, Esbacher Weg 15, D-91555 Feuchtwangen      Prüfdatum: 31.01.2014  
Objekt: 30 Stück Wand- und Deckenpaneel mit der Bezeichnung "Decampo" 47 mm, je Breite 620 mm x Höhe 620 mm, beidseitig absorbierend, im Raster 6 x 5 ohne Abstand auf dem Hallraumboden aufgelegt

Aufbau:  
-4 mm Filz  
-39 mm Vlies  
-4 mm Filz  
-Hallraumboden

Fläche des Prüfmaterials:	11,5 m <sup>2</sup>	Hallraum leer:	Relative Luftfeuchtigkeit:	42 %	Hallraum mit Prüfobjekt:	Relative Luftfeuchtigkeit:	42 %
Volumen des Hallraums:	195 m <sup>3</sup>	Temperatur:	19 °C	Luftdruck:	101,6 kPa	Temperatur:	19 °C
						Luftdruck:	101,6 kPa

Frequenz f [Hz]	$\alpha_s$
100	0,10
125	0,16
160	0,34
200	0,43
250	0,53
315	0,76
400	0,86
500	0,94
630	1,03
800	1,07
1000	1,11
1250	1,09
1600	1,11
2000	1,09
2500	1,04
3150	1,02
4000	1,00
5000	1,00



Unterschrift



Bereich Schallschutz  
Hans-Weigel-Str. 2b  
04319 Leipzig  
Tel. 0341-6582115



MFPA Leipzig GmbH  
Bauphysik

PB 4.2/14-328-1  
vom 11. September 2014

Anlage 1  
Seite 1 von 1

## Schallabsorptionsgrad nach ISO 354:2003

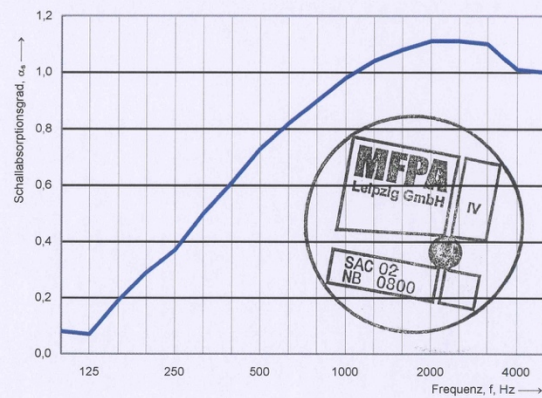
Messung der Schallabsorption im Hallraum

Auftraggeber: PREFORM GmbH, Esbacher Weg 15, D-91555 Feuchtwangen      Prüfdatum: 31.01.2014  
Objekt: 30 Stück Wand- und Deckenpaneel mit der Bezeichnung "Decampo" 32 mm, je Breite 620 mm x Höhe 620 mm, beidseitig absorbierend, im Raster 6 x 5 ohne Abstand auf dem Hallraumboden aufgelegt

Aufbau:  
- 4 mm Filz  
- 24 mm Vlies  
- 4 mm Filz  
- Hallraumboden

Fläche des Prüfmaterials:	11,5 m <sup>2</sup>	Hallraum leer:	Relative Luftfeuchtigkeit:	42 %	Hallraum mit Prüfobjekt:	Relative Luftfeuchtigkeit:	42 %
Volumen des Hallraums:	195 m <sup>3</sup>	Temperatur:	19 °C		Temperatur:	19 °C	
		Luftdruck:	101,6 kPa		Luftdruck:	101,6 kPa	

Frequenz f [Hz]	$\alpha_s$
100	0,08
125	0,07
160	0,19
200	0,29
250	0,37
315	0,50
400	0,61
500	0,73
630	0,82
800	0,90
1000	0,98
1250	1,04
1600	1,08
2000	1,11
2500	1,11
3150	1,10
4000	1,01
5000	1,00


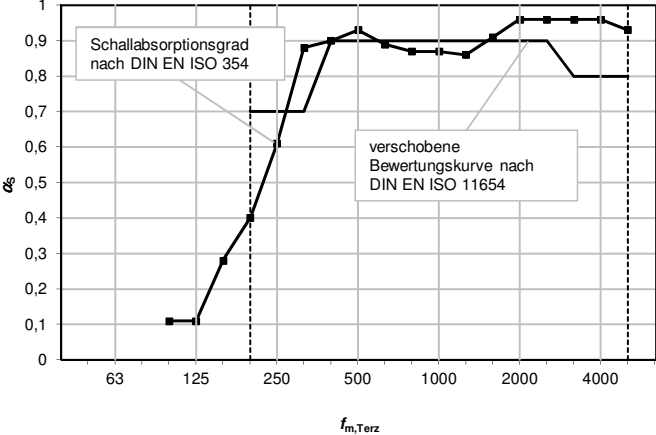


Unterschrift

*Spring*



Bereich Schallschutz  
Hans-Weigel-Str. 2b  
04319 Leipzig  
Tel. 0341-6582115

Schallabsorptionsgrad nach DIN EN ISO 354 Messung der Schallabsorption in Hallräumen		A 01																																																					
<b>Messgegenstand:</b>		 Research & Development - Test - Consultancy																																																					
Bezeichnung:	Decato Modul 4																																																						
Beschreibung:	38 mm Gips Schaum-Wand- und Deckenpanel oder Gips Schaum-Stellwand (Typ 183)																																																						
Hersteller:	PREFORM GmbH, D-91555 Feuchtwangen																																																						
Auftraggeber der Messung:	Hersteller																																																						
<b>Messbedingungen:</b>																																																							
Messnorm:	DIN EN ISO 354: Messung der Schallabsorption in Hallräumen																																																						
Verfahren:	Verfahren mit abgeschaltetem Rauschen, Messung von drei Abklingvorgängen an drei / vier Mikrofonpositionen / Quellpositionen und Mittelung der ermittelten Nachhallzeiten																																																						
Hallraumvolumen $V$ :	195 m <sup>3</sup> (schrägseitiger Quaderraum mit ca. 7,2 m x 6,0 m x 4,5 m Ausdehnung)																																																						
Hallraumboberfläche $S_i$ :	205 m <sup>2</sup> (ohne Berücksichtigung der 12 Diffusoren mit ca. 1,5 m x 1,0 m Ausdehnung)																																																						
Temperatur:	21 °C																																																						
relative Luftfeuchte:	62 %																																																						
Messdatum:	05.10.2012																																																						
<b>Prüfobjekt:</b>																																																							
Schichtaufbau:	0,6 mm Stoff - 0,4 mm Vlies - 36 mm Gips Schaum - 0,4 mm Vlies - 0,6 mm Stoff																																																						
Anzahl Einzelobjekte:	6																																																						
Prüffläche $S$ :	11,5 m <sup>2</sup> (Absorberdicke 38 mm)																																																						
Messaufbau:	gemäß DIN EN ISO 345 ohne seitliche Abdeckprofile zusammenhängend auf Hallraumboden gelegt und umlaufend abgedichtet																																																						
<b>Messergebnis:</b>																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th><math>f_{m, \text{Terz}} / f_{m, \text{Oktave}}</math></th> <th><math>\alpha_{S, \text{Terz}}</math></th> <th><math>\alpha_{S, \text{Oktave}}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>50</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>63</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>80</td><td>---</td><td>---</td></tr> <tr><td>100</td><td>0,11</td><td rowspan="4">0,15</td></tr> <tr><td>125</td><td>0,11</td></tr> <tr><td>160</td><td>0,28</td></tr> <tr><td>200</td><td>0,40</td></tr> <tr><td>250</td><td>0,61</td><td rowspan="2">0,65</td></tr> <tr><td>315</td><td>0,88</td></tr> <tr><td>400</td><td>0,90</td><td rowspan="3">0,90</td></tr> <tr><td>500</td><td>0,93</td></tr> <tr><td>630</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>800</td><td>0,87</td><td rowspan="3">0,85</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0,87</td></tr> <tr><td>1250</td><td>0,86</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0,91</td><td rowspan="2">0,95</td></tr> <tr><td>2000</td><td>0,96</td></tr> <tr><td>2500</td><td>0,96</td><td rowspan="4">0,95</td></tr> <tr><td>3150</td><td>0,96</td></tr> <tr><td>4000</td><td>0,96</td></tr> <tr><td>5000</td><td>0,93</td></tr> </tbody> </table>	$f_{m, \text{Terz}} / f_{m, \text{Oktave}}$	$\alpha_{S, \text{Terz}}$	$\alpha_{S, \text{Oktave}}$	50	---	---	63	---	---	80	---	---	100	0,11	0,15	125	0,11	160	0,28	200	0,40	250	0,61	0,65	315	0,88	400	0,90	0,90	500	0,93	630	0,89	800	0,87	0,85	1000	0,87	1250	0,86	1600	0,91	0,95	2000	0,96	2500	0,96	0,95	3150	0,96	4000	0,96	5000	0,93	 <p style="text-align: center;">Mittenfrequenz Terz- / Oktavband <math>f_{m, \text{Terz}} / f_{m, \text{Oktave}}</math> in Hz Schallabsorptionsgrad je Terz- / Oktavband <math>\alpha_{S, \text{Terz}} / \alpha_{S, \text{Oktave}}</math></p>
$f_{m, \text{Terz}} / f_{m, \text{Oktave}}$	$\alpha_{S, \text{Terz}}$	$\alpha_{S, \text{Oktave}}$																																																					
50	---	---																																																					
63	---	---																																																					
80	---	---																																																					
100	0,11	0,15																																																					
125	0,11																																																						
160	0,28																																																						
200	0,40																																																						
250	0,61	0,65																																																					
315	0,88																																																						
400	0,90	0,90																																																					
500	0,93																																																						
630	0,89																																																						
800	0,87	0,85																																																					
1000	0,87																																																						
1250	0,86																																																						
1600	0,91	0,95																																																					
2000	0,96																																																						
2500	0,96	0,95																																																					
3150	0,96																																																						
4000	0,96																																																						
5000	0,93																																																						
<b>Einzahlwert:</b>	<b>Bewerteter Schallabsorptionsgrad <math>\alpha_{S, w} = 0,90</math></b>																																																						
Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH Blumenstraße 80 01307 Dresden Fon: +49 (0)351 811309-0, Fax: -50		Bericht-Nr.: 120160028003-A01 Bearbeiter: S. Richardt, V. Bormann Datum: 20.11.2012																																																					





MFPA Leipzig GmbH  
Bauphysik

PB 4.2/14-229-6  
vom 03. Juli 2014

Anlage 1  
Seite 1 von 1

### Schallabsorptionsgrad nach ISO 354:2003

Messung der Schallabsorption im Hallraum

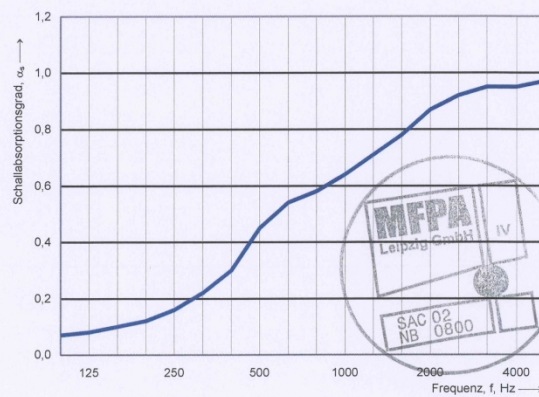
Auftraggeber: PREFORM GmbH, Esbacher Weg 15, D-91555 Feuchtwangen Prüfdatum 13.08.2009  
Objekt: 6 Stück Schrankrückwände "Panel", 16 mm Dicke mit Gipschaum, einseitig absorbierend auf den Hallraumboden gelegt, nicht parallel zu den Raumbegrenzungsflächen

Aufbau: ca. 0,6 mm Stoff  
0,4 mm Akustikvlies  
7 mm Aluminiumrahmen (= 7 mm Luftzwischenraum)  
7 mm Gipschaum  
0,4 mm Akustikvlies  
ca. 0,6 mm Stoff

Maße mit Rahmen: Breite 1200 mm x Höhe 1600 mm

Fläche des Prüfmaterials:	11,50 m <sup>2</sup>	Hallraum leer:	Relative Luftfeuchtigkeit:	51,0 %	Hallraum mit Prüfobjekt:	Relative Luftfeuchtigkeit:	51,0 %
Volumen des Hallraums:	195,0 m <sup>3</sup>	Temperatur:	19,0 °C	Luftdruck:	101,5 kPa	Temperatur:	19,0 °C
						Luftdruck:	101,5 kPa

Frequenz f [Hz]	$\alpha_s$
100	0,07
125	0,08
160	0,10
200	0,12
250	0,16
315	0,22
400	0,30
500	0,45
630	0,54
800	0,58
1000	0,64
1250	0,71
1600	0,78
2000	0,87
2500	0,92
3150	0,95
4000	0,95
5000	0,97



Datum 03.07.2014

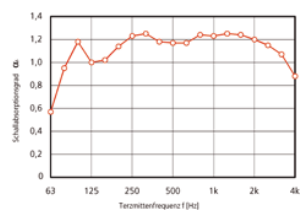
Unterschrift

*Sprhar*

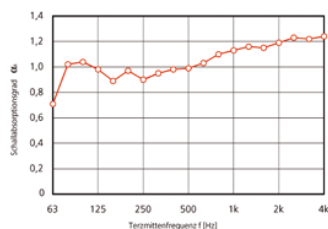


Bereich Schallschutz  
Hans-Weigel-Str. 2b  
04319 Leipzig  
Tel. 0341-6582115

### Absorptionskurven

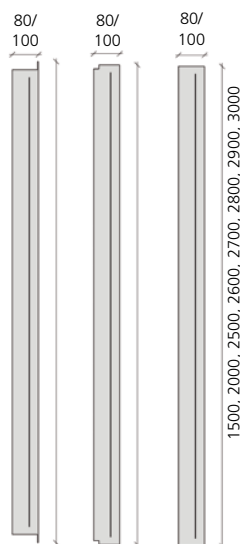


BJA Typ 1, sichtbare Anwendung\*



BJA Typ 1, verdeckte Anwendung\*

### Abmessungen



### Konstruktion

5-lagiger Elementaufbau mit Lochblech/Mies/Dämpfer/Schwingblech/Dämpfer. Sichtbare Kassette mit Feinlochung, 5-seitige Rahmenausbildung mit Schnellmontagebeschlag. Verdeckte Ausführung wie vor, jedoch ohne Gehäuse, Montage mit Z-Profilen.

### Abmessungen

Standardlängen: 1500, 2000, 2500, 2600, 2700, 2800, 2900, 3000 mm  
 Standardbreiten: 1000 oder 850 mm  
 Standardtiefen: 100 oder 80 mm  
 Sondergrößen: nach Anfrage

### Material

Stahl-Feinblech für Gehäuse und Schwingblech. Dämpfermaterial aus baubiologisch geprüften Fasern aus Polyester/Viskose bzw. mineralischen Werkstoffen; Typ 2,5 mit Sonderaufbau.

### Oberflächen

Polyester-Pulverbeschichtung nach Farbkarte, auf Sonderwunsch komplett RAL/NCS.

### Brandschutz

Standard-Baustoffklasse B1, schwerentflammbar. Auf Sonderwunsch auch Baustoffklasse A2. Typ 2,5 mit Sonderaufbau.

### Schallabsorption

Nach Prüfzeugnissen des Fraunhofer Institutes für Bauphysik.

### Variationen

Auf Wunsch sind die Fronten/Oberflächen des Breitband-Kompakt-Absorbers auch mit gelochten Holzstrukturen, Stoffbespannungen und Streckmetallbelegungen usw. erhältlich.

\*Alle Werte für 6 Standardelemente (1500x1000) im Hallraum. Alle Angaben in mm.