



---

# Abschlussbericht

---

**Weiterführende Untersuchungen  
zur Restaurierung der Orgel  
in der Stadtkirche Mittweida**

**2018**

Mona Soleimani  
Tom Roßberg  
Konrad Peschke  
Martin Reuter

# Inhalt

<b>Inhalt</b>	.....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	.....	<b>IV</b>
<b>Diagrammverzeichnis</b>	.....	<b>V</b>
<b>Formelverzeichnis</b>	.....	<b>VI</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
1.1	<i>Stadtkirche Mittweida</i> .....	8
1.2	<i>Ladegast-Jehmlich Orgel</i> .....	9
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>10</b>
2.1	<i>Nachhallzeit</i> .....	10
2.1.1	Sabine .....	10
2.1.2	Eyring .....	11
2.1.3	Optimale Nachhallzeit in Kirchen .....	11
2.2	<i>Koinzidenzfrequenz</i> .....	13
2.3	<i>Resonanzfrequenz</i> .....	13
2.4	<i>Stehende Welle</i> .....	14
2.5	<i>Schalldämmmaß</i> .....	14
2.5.1	Schalldämmung einschaliger Bauteile .....	17
2.5.2	Schalldämmung zweischaliger Bauteile .....	18
<b>3</b>	<b>EASE Simulation</b> .....	<b>19</b>
3.1	<i>Grundlagen und Ausgangssituation</i> .....	19
<b>4</b>	<b>Bisherige Erfahrungen mit der Akustik der Kirche</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Messungen</b> .....	<b>21</b>
5.1.1	Verwendete Geräte .....	21
5.1.2	Messpunkte .....	21
5.1.3	Nachhallzeit.....	22
5.1.4	Messung des Schalldruckes und daraus errechnete Schallleistung .....	23
5.1.5	Schalldämmmaß .....	23
5.2	<i>Messergebnisse</i> .....	23
5.2.1	Nachhallzeit.....	23

---

5.2.2	Schalldruckpegel .....	24
5.2.3	Schalleistung .....	25
5.2.4	Schalldämmung .....	25
<b>6</b>	<b>Maßnahmen .....</b>	<b>26</b>
6.1	<i>Abgehangene Decke.....</i>	26
6.2	<i>Verbesserte Schalldämmung durch Dämmung der Türen in der Rückwand ..</i>	28
6.3	<i>Massive Auskleidung der Rückwand im Oberwerk.....</i>	29
6.4	<i>Schalldämmung der Trennwand zwischen den Oberwerken.....</i>	30
6.5	<i>Sitzkissen .....</i>	31
6.6	<i>Öffnung des Orgelprospekts .....</i>	32
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>33</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XXXIV</b>
	<b>Anlagen, Teil 1 .....</b>	<b>XXXV</b>
	<b>Anlagen, Teil 2 .....</b>	<b>XXXVII</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>39</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stadtkirche Mittweida, historische Ansicht (1843).....	8
Abbildung 2: Ladegast Orgel.....	9
Abbildung 3: Nachhallzeit (RT60).....	10
Abbildung 4: Empfohlene Nachhallzeiten, stiltypische Bereiche gotischer Kirchen .....	12
Abbildung 5: Optimale Nachhallzeiten für Orgeln .....	12
Abbildung 6: Senderraum / Empfangsraum .....	14
Abbildung 7: R Bewertung.....	15
Abbildung 8: Bezugswerte für den Luftschallschutz .....	16
Abbildung 9: Drei Bereiche des Frequenzgangs einschaliger Bauteile.....	17
Abbildung 10: Prinzipieller Verlauf des Schalldämmmaßes .....	18
Abbildung 11: Ausgangszustand des Kirchenmodells .....	19
Abbildung 12: Mikrofone - Messpunkte .....	21
Abbildung 13: Dodekaederbox - Sendepunkte.....	22
Abbildung 14: abgehangene Decke - unser Vorschlag (Erg.: Abbildung 20).....	26
Abbildung 15: abgehangene Decke - Vorschlag der Zimmerer (Erg.: Abbildung 19) .....	27
Abbildung 16: Schalldämmung der Türen - unser Vorschlag.....	28
Abbildung 17: Schalldämmung der Türen - tatsächliche Umsetzung.....	28
Abbildung 18: Sitzflächen des Kirchenschiffs.....	31
Abbildung 19: nach Konstruktionsplan der Zimmerer (simuliert bei 1000 Hz) .....	XXXVIII
Abbildung 20: unser Vorschlag (simuliert bei 1000 Hz) .....	XXXVIII

## Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Gemessene Nachhallzeit.....	24
Diagramm 2: Schalldruckpegel - Oberwerk geschlossen.....	24
Diagramm 3: Schalleistung vorher .....	25
Diagramm 4: Schalldämmmaß vor Türdämmung .....	25
Diagramm 5: Schalldämmmaß - vorher / nachher .....	29
Diagramm 6: Vergleich der Nachhallzeiten (Erg.: Diagramm 13, 14, 15) .....	32
Diagramm 7: Unteres Hauptwerk - offen / geschlossen .....	32
Diagramm 8: Schalldruckpegel - Differenzen nach Deckeneinhang .....	XXXV
Diagramm 9: Schalldruckpegel - Oberwerk offen.....	XXXV
Diagramm 10: Schalldruckpegel - Oberwerk geschlossen.....	XXXV
Diagramm 11: Schalldruckpegel - Unteres Hauptwerk offen .....	XXXVI
Diagramm 12: Schalldruckpegel - Unteres Hauptwerk geschlossen .....	XXXVI
Diagramm 13: ohne Polsterung (berechnete Werte - EASE).....	XXXVII
Diagramm 14: mit Polsterung (berechnete Werte - EASE).....	XXXVII
Diagramm 15: mit Polsterung und vollbesetzt (berechnete Werte - EASE) .....	XXXVII

## Formelverzeichnis

Formel 1: Nachhallzeit - Sabine .....	10
Formel 2: Äquivalente Absorptionsfläche - Sabine .....	10
Formel 3: Äquivalente Absorptionsfläche - Eyring .....	11
Formel 4: Nachhallzeit - Eyring .....	11
Formel 5: Koinzidenzfrequenz – Zugeschnittene Größengleichung .....	13
Formel 6: Resonanzfrequenz .....	13
Formel 7: Resonanzfrequenz - $\Xi > 5 \text{ kNs/m}^4$ .....	14
Formel 8: Resonanzfrequenz – $m_1'' = m_2''$ .....	14
Formel 9: Einbruch der Schalldämmung bei hohen Frequenzen .....	14
Formel 10: Pegeldifferenz .....	15
Formel 11: Schalldämmmaß .....	15
Formel 12: Schalldämmmaß .....	17
Formel 13: Kreisfrequenz .....	17
Formel 14: Flächenbezogene Masse .....	18
Formel 15: Luftimpedanz.....	18
Formel 16: Schalleistungspegel .....	23

# 1 Einleitung

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine Erweiterung der akustischen Untersuchung der Orgel der Stadtkirche „Unsere Lieben Frauen“ in Mittweida. Nachdem im Sommersemester 2017 die Orgel schalltechnisch untersucht wurde, arbeiteten wir in diesem Semester an dem Orgelraum, welcher durch den Ausbau der Orgel leichter zugänglich war. Während den Messungen in der Kirche, wurden gleichzeitig mögliche Maßnahmen und deren Wirksamkeit in einem Computermodell simuliert. Es sollten die schallleitenden und -transmittierenden Bauteile im Orgelraum untersucht und festgestellt werden, inwieweit die Schallabstrahlung in Richtung des Kirchenschiffes, vor allem im Bereich der hohen und tiefen Frequenzen, verbessert werden kann

In diesem Bericht wird die Vorgehensweise für die Aufgabenstellung detailliert beschrieben. Er bietet ein Konzept zur Optimierung des Orgelraumes, unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes. Es werden Lösungsvorschläge formuliert, deren Ansätze theoretisch begründet sind und deren Umsetzung genau diskutiert wird. Auftretende Probleme werden analysiert und resultierende Änderungen und deren Auswirkungen aufgezeigt.

Dieses Projekt der Hochschule Mittweida entwickelte sich in Absprache mit der Kirchengemeinde „Unsere Lieben Frauen“, der Orgelbaufirma „Eule“ und Prof. Christian Schulz.

## 1.1 Stadtkirche Mittweida

Die Stadtkirche Mittweida wurde 1303 erstmals erwähnt. Nach einem Brand im Jahr 1450 wurde sie zum Teil durch einen Neubau ersetzt. In den Jahren 1886/87 fand eine neugotische Restaurierung, im Jahr 1958 eine Erneuerung des Innenraumes statt.

1987 war die letzte generelle Restaurierung der Stadtkirche.

Die Stadtkirche in Mittweida ist eine dreischiffige, vierjochige Hallenkirche, aus verputztem Bruchsteinmauerwerk mit verschiedenen Netzgewölbeformen. Der zweischiffige Chor umfasst das Mittelschiff und das südliche Seitenschiff und schließt mit sieben Seiten eines Zwölfecks. Das, vom Vorgängerbau übernommene, Nordschiff des Chores ist niedriger und mit steinernen Emporen versehen. Das Volumen der Kirche beträgt 11 890 m<sup>3</sup>.

Die Stadtkirche steht auf einem befestigten Kirchhof mit zahlreichen, teils mehrarmigen und miteinander verbundenen, unterirdischen Speichern mit Gewölben oder in den Felsen gehauenen Gängen, die ursprünglich der Aufbewahrung von Getreide und Geräten oder als Zufluchtsort dienten.<sup>1</sup>



Abbildung 1: Stadtkirche Mittweida, historische Ansicht (1843)

---

<sup>1</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Unser\\_Lieben\\_Frauen\\_\(Mittweida\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Unser_Lieben_Frauen_(Mittweida))

<sup>2</sup> <https://www.zvab.com/kunst-grafik-poster/Mittweida-Sachsens-Kirchen-Galerie-Mittweida-Dresden-Hermann/16811875341/bd>



## 1.2 Ladegast-Jehmlich Orgel

Die Orgel wurde von Friedrich Ladegast im Jahr 1880 erbaut und umfasst 39 Register auf drei Manualen und zugehörigem Pedal, jedoch ist davon nur noch das neugotische Gehäuse erhalten geblieben.

Das Werk wurde 1931 durch die Firma Jehmlich Orgelbau Dresden auf 72 Register erweitert und im Jahr 2009 konnte eine, mit der Orgelfirma Eule, in Mittweida entwickelte, Bypass-technik eingebaut werden, durch die wieder alle 5115 Pfeifen fehlerfrei spielbar sind.<sup>3</sup>

Bei der Orgel der Stadtkirche Mittweida handelt sich um die größte Orgel Mittelsachsens und um die siebtgrößte in ganz Sachsen. Durch ein Forschungsprojekt der Hochschule Mittweida, gemeinsam mit der Bautzener Orgelbaufirma Eule, im Jahr 2005, wurde das Instrument zur weltweit ersten Orgel mit elektronischem Bypass.

2018 wurde die Orgel durch die Firma Eule vollständig saniert. Während dieser Sanierung fanden die schalltechnischen Untersuchungen des Orgelraumes statt, die in diesem Bericht genauer behandelt werden.<sup>4</sup>



5

**Abbildung 2: Ladegast Orgel**

---

<sup>3</sup> <https://kirchgemeinde-mittweida.jimdo.com/start/mittweida/>

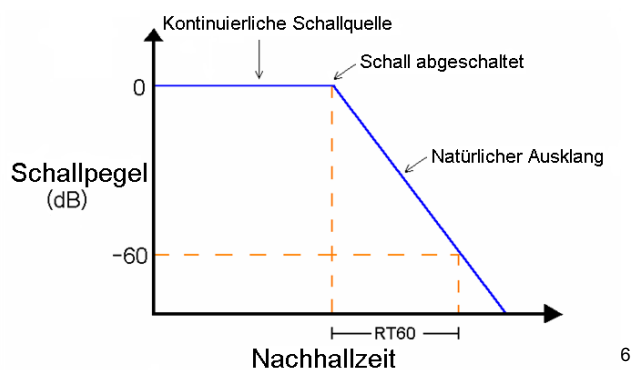
<sup>4</sup> <http://orgelverein-mittweida.de/ladegast-jehmlich-orgel/>

<sup>5</sup> <https://www.betterplace.org/de/projects/45503-restaurierung-der-ladegast-jehmlich-orgel-mittweida>

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Nachhallzeit

Die Nachhallzeit ist eine der auffälligsten Charakteristika der Raumakustik. Sie ist stark frequenzabhängig, kann jedoch als gemittelter Einzahlwert zur schnellen, provisorischen Beurteilung der Raumakustik genutzt werden. Die Nachhallzeit, auch RT60 (Reverberation Time: 60 dB) genannt, gibt an, wie lange ein Signal nach abschalten der Signalquelle benötigt, um 60 dB leiser zu werden.



6

Abbildung 3: Nachhallzeit (RT60)

#### 2.1.1 Sabine

Die einfachste und häufigste Formel zur Berechnung der Nachhallzeit ist die nach W. C. Sabine benannte Sabine'sche Formel.

$$T = 0,163 * \frac{V}{A}$$

T	Nachhallzeit [s]
V	Volumen [m <sup>3</sup> ]
A = $\alpha * S$	Äquivalente Absorptionsfläche [m <sup>2</sup> ]
$\alpha$	Absorptionsgrad
S	Absorbierende Oberfläche [m <sup>2</sup> ]
c <sub>20</sub>	Schallgeschwindigkeit: 343 m/s bei 20°C

#### Formel 1: Nachhallzeit - Sabine

mit  $A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n$

#### Formel 2: Äquivalente Absorptionsfläche - Sabine

<sup>6</sup> <http://www.sengpielaudio.com/RT60-02.gif>

Für Räume mit einfacher Geometrie und geringer bis mittlerer Absorption ( $\alpha < 0,3$ ), liefert diese Formel eine ausreichende Genauigkeit.

### 2.1.2 Eyring

Bei der Sabine'schen Formel wird bei vollständiger Absorption ( $\alpha = 1$ ) die Nachhallzeit nicht Null. Von diesem Widerspruch ausgehend, hat Eyring 1930 eine genauere Formel abgeleitet. Dabei wird in der Sabine'schen Formel die äquivalente Absorptionsfläche durch folgende Gleichung ersetzt.

$$A = -S * \ln(1 - \alpha_m)$$

A	Äquivalente Absorptionsfläche [m <sup>2</sup> ]
S	Gesamtoberfläche des Raums [m <sup>2</sup> ]
$\alpha_m$	mittlerer Absorptionsgrad [dimensionslos]

#### Formel 3: Äquivalente Absorptionsfläche - Eyring

Daraus folgt:

$$T = -0,163 * \frac{V}{S_0 * \ln(1 - \bar{\alpha})}$$

T60	Nachhallzeit [s]
S	Absorbierende Oberfläche [m <sup>2</sup> ]
V	Volumen [m <sup>3</sup> ]

#### Formel 4: Nachhallzeit - Eyring

Dadurch liefert die Eyring'sche Formel, bei höherer bis vollständiger Absorption (für  $\alpha > 0,3$ ), genauere Werte.

Die noch genauere Knudsen'sche Nachhallformel berücksichtigt auch die Luftabsorption, hat aber in der Praxis eine geringe Bedeutung, da sie meist genauer als entsprechende Messungen ist.<sup>7</sup>

Da die Stadtkirche ein relativ großes Volumen besitzt und die vorhandene Absorption sehr gering ist, werden die Berechnungen mit der Formel nach Sabine durchgeführt.

### 2.1.3 Optimale Nachhallzeit in Kirchen

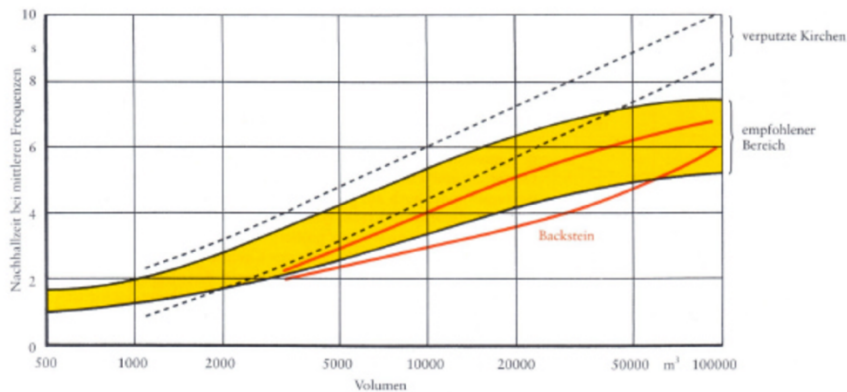
Spezielle Vorschriften für Nachhallzeiten in Kirchen lassen sich nur schwer ermitteln. Je nach Raumvolumen, Raumanwendung und vorhandener Absorptionsfläche sind unter-

---

<sup>7</sup> [https://books.google.com/books?id=HVMiAAAAQBAJ&pg=PA32&lpg=PA32&dq=Knudsen+sche+Nachhallformel&source=bl&ots=UhpC3tUOVE&sig=KFkxH9bde9eM-Yugk9ego7nw9Ps&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewiT-kKztk6fdAhXOmQ0KHeqtC\\_QQ6AEwAHoECAMQAQ#v=onepage&q=Knudsen+sche%20Nachhallformel&f=false](https://books.google.com/books?id=HVMiAAAAQBAJ&pg=PA32&lpg=PA32&dq=Knudsen+sche+Nachhallformel&source=bl&ots=UhpC3tUOVE&sig=KFkxH9bde9eM-Yugk9ego7nw9Ps&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewiT-kKztk6fdAhXOmQ0KHeqtC_QQ6AEwAHoECAMQAQ#v=onepage&q=Knudsen+sche%20Nachhallformel&f=false)

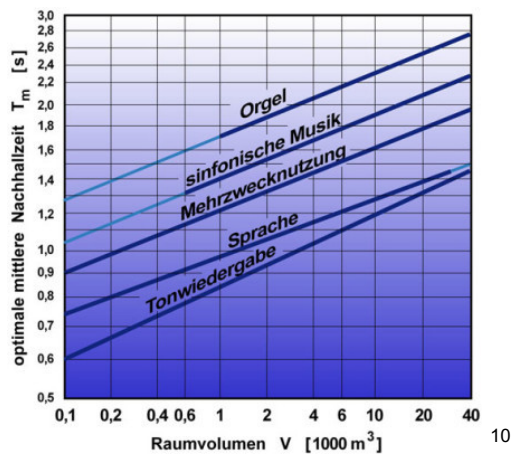
schiedliche Nachhallzeiten empfohlen. Jürgen Meyer fasst in seinem Buch „Kirchenakustik“ die verschiedenen Angaben zu den empfohlenen Nachhallzeiten zusammen. Seine Empfehlungen basieren auf seinen Untersuchungen von ca. 70 Kirchen.

Da die Absorptionsfläche nicht nur von der Oberfläche, sondern auch von den vorhandenen Personen im Raum abhängig ist, spielt es eine wesentliche Rolle ob die Kirche leer oder voll besetzt ist. In Abbildung 4 sind die von Meyer empfohlenen Nachhallzeiten in leeren Zustand.<sup>8</sup>



9

Abbildung 4: Empfohlene Nachhallzeiten, stiltypische Bereiche gotischer Kirchen



10

Abbildung 5: Optimale Nachhallzeiten für Orgeln

<sup>8</sup> Meyer 2003, S. 152

<sup>9</sup> Meyer 2003, S. 152

<sup>10</sup> <https://www.baunetzwissen.de/akustik/fachwissen/grundlagen/optimale-nachhallzeiten-147629>

## 2.2 Koinzidenzfrequenz

„Unter Koinzidenzgrenzfrequenz (Grenzfrequenz, Spuranpassungsgrenzfrequenz)  $f_g$  versteht man die Frequenz, bei der die Wellenlänge des Luftschalls mit der Wellenlänge der Biegewelle des Bauteils übereinstimmt. In diesem Frequenzbereich tritt aufgrund der Spuranpassung eine Verschlechterung der Luftschalldämmung auf.“<sup>11</sup>

$$f_{c0} = \frac{6,4 * 10^4 \text{ m}^2}{d} \frac{1}{s^2} * \sqrt{\frac{\rho_W}{E}} = \frac{6,4 * 10^4 \text{ m}^2}{c_L * d} \frac{1}{s^2}$$

### Formel 5: Koinzidenzfrequenz – Zugeschnittene Größengleichung

Wenn die Koinzidenzgrenzfrequenz eines Bauteils innerhalb des bauakustisch interessanten Frequenzbereiches ( $100 \text{ Hz} < f_g < 2000 \text{ Hz}$ ) liegt, führt das zu einem relevanten Einbruch des Schalldämmmaßes.

Daher sollte gelten:  $f_g < 100 \text{ Hz}$  oder  $f_g > 2000 \text{ Hz}$ . Die Bauteile, die eine Koinzidenzgrenzfrequenz kleiner 100 Hz besitzen, werden als ausreichend biegesteife Bauteil bezeichnet. Liegt die Koinzidenzgrenzfrequenz  $f_g > 2000 \text{ Hz}$ , spricht man von ausreichend biegeweichen Bauteilen.

## 2.3 Resonanzfrequenz

Als Resonanz versteht man die Frequenz, bei der die beiden Schalen einer zweischaligen Wand, mit maximaler Amplitude gegeneinander schwingen und dabei die federnde Zwischenschicht zusammendrücken. Im Bereich der Resonanzfrequenz verschlechtert sich die Luftschalldämmung, da die Energie in Körperschall umgewandelt und weitergeleitet wird. Die Resonanzfrequenz hängt von der Flächenmasse der beiden Schalen und der dynamischen Steifigkeit der Zwischenschicht ab. Das entstehende Masse-Feder-Masse System kann durch Mineralwolle im Zwischenraum gedämpft werden.

$$f_r = 160 * \sqrt{s' * \left( \frac{1}{m_1''} + \frac{1}{m_2''} \right)}$$

$s'$	$\text{MN/m}^3$
$m''$	$\text{kg/m}^2$

### Formel 6: Resonanzfrequenz

für Mineralwolle mit  $\Xi > 5 \text{ kNs/m}^4$  im Luftzwischenraum (Schalen nicht verbunden) gilt:

<sup>11</sup> <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/29.00-vor30.htm#ftn5>

$$f_r = 510 * \sqrt{\frac{1}{d_L} * \frac{m_1'' + m_2''}{m_1'' * m_2''}}$$

d<sub>L</sub>      cm  
m''      kg/m<sup>2</sup>

**Formel 7: Resonanzfrequenz -  $\Xi > 5 \text{ kNs/m}^4$**

mit  $m_1'' = m_2''$  gilt:

$$f_r = 720 * \sqrt{\frac{1}{m'' * d_L}}$$

d<sub>L</sub>      cm  
m''      kg/m<sup>2</sup>

**Formel 8: Resonanzfrequenz –  $m_1'' = m_2''$**

## 2.4 Stehende Welle

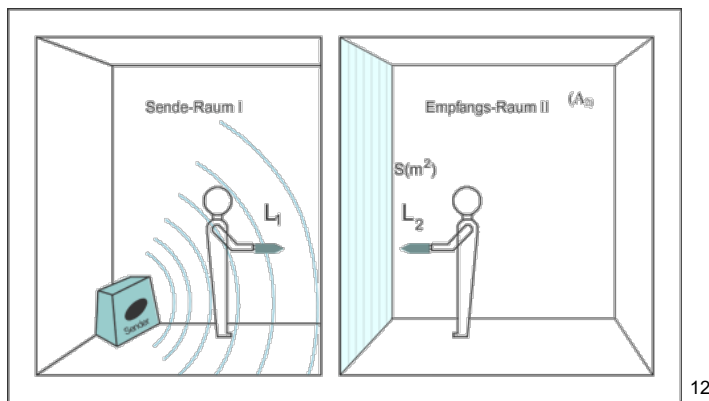
Zwischen den beiden Schalen bilden sich stehende Wellen aus, wenn man keine Faserdämmstoffe nutzt. Sie treten auf, wenn der Abstand  $a$  der beiden Schalen einem ganzzahligen Vielfachen  $n$  von  $\lambda/2$  entspricht, wobei  $\lambda$  die Wellenlänge ist.

$$f_{\lambda_n} = n * \frac{17000}{d_L}$$

d<sub>L</sub>      cm

**Formel 9: Einbruch der Schalldämmung bei hohen Frequenzen**

## 2.5 Schalldämmmaß



**Abbildung 6: Senderaum / Empfangsraum**

<sup>12</sup> [http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Schall/Schall\\_Bauwerk/Kennwerte/Luftschalldaemmung\\_Messung.html](http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Schall/Schall_Bauwerk/Kennwerte/Luftschalldaemmung_Messung.html)

$D = L_1 - L_2$	D	Pegeldifferenz [dB]
	$L_1$	SDP im Senderraum [dB]
	$L_2$	SDP im Empfangsraum [dB]

**Formel 10: Pegeldifferenz**

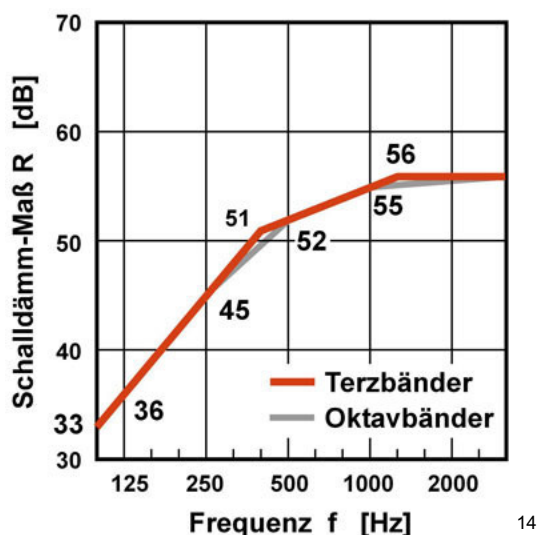
Das Schalldämmmaß R bezeichnet eine Messgröße zur Kennzeichnung der Luftschalldämmung eines einzelnen Bauteils. R ist frequenzabhängig und wird aus Schalldruckpegeldifferenzen berechnet. Der Term der Äquivalenten Absorptionsfläche bildet einen Korrekturwert, hat jedoch keinen Einfluss auf das Schalldämmmaß.

$R = D + 10 \lg \frac{S}{A}$	$R = R(f)$	Schalldämmmaß [dB]
	S	Prüffläche [m <sup>2</sup> ]
	$A = A(f)$	äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum [m <sup>2</sup> ]

**Formel 11: Schalldämmmaß**

R' (Strich) ist der im eingebauten Zustand gemessene Wert des Bauteils mit allen Nebewegen über die Flanken.

Um die Schalldämmung dennoch durch eine Einzahlangabe hinreichend genau charakterisieren zu können, wird das bewertete Schalldämmmaß  $R_w$  bzw. das bewertete Bau-Schalldämmmaß  $R'_w$  gebildet.<sup>13</sup>

**Abbildung 7: R Bewertung**

<sup>13</sup> <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/30.00-vor31.htm>

<sup>14</sup> <https://www.baunetzwissen.de/akustik/fachwissen/schalluebertragung/bewertung-der-schalldaemmung-147673>

Die frequenzabhängige Bezugskurve für das Schalldämmmaß wird über die gemessenen bzw. berechneten Werte gelegt und dann um ganze dB Schritte nach oben bzw. nach unten verschoben, bis die Summe der Unterschreitungen der Bezugskurve durch die Messkurve so groß wie möglich ist, aber 2 dB pro Terz (32 dB bei 16 Terzen) nicht überschreitet. Das bewertete Schalldämmmaß  $R_w$  entspricht dann dem Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz.

Frequenz f [Hz]	$R_{\text{Bezug},i}$ [dB]
100	33
125	36
160	39
200	42
250	45
315	48
400	51
500	52
630	53
800	54
1000	55
1250	56
1600	56
2000	56
2500	56
3150	56

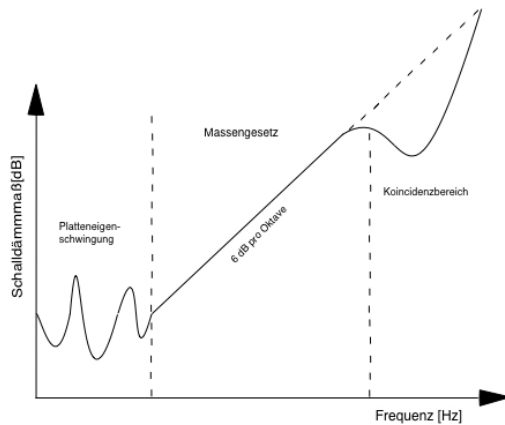
Abbildung 8: Bezugswerte für den Luftschallschutz <sup>15</sup>

<sup>15</sup> <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/30.00-vor31.htm>



### 2.5.1 Schalldämmung einschaliger Bauteile

Die Schalldämmung der einschaligen Bauteile hängt von der flächenbezogenen Masse der Wand, der Frequenz und dem Einfallswinkel des Schalls ab.



**Abbildung 9: Drei Bereiche des Frequenzgangs einschaliger Bauteile**

Es gilt das Berger'sche Massengesetz, welches besagt, dass ein einschaliges Bauteil besser dämmt, je höher die Masse bzw. die Dichte ist. Man spricht hier von einer Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse. Des Weiteren werden hohe Frequenzen besser gedämmt als tiefe. Einbrüche der Schalldämmung finden in Bereichen der Eigenschwingfrequenz und der Koinzidenzfrequenz statt. Da bei üblichen Raumabmessungen die Eigenschwingungen nur unterhalb des in der Bauakustik interessierenden Frequenzbereiches ( $< 100$  Hz) auftreten, spielen die Eigenschwingungen in der Praxis keine bedeutende Rolle.<sup>16</sup>

$$R = 20 \lg \frac{\omega m''}{2Z_L} - 3 \text{ dB}$$

$R(f)$

Schalldämmmaß [dB]

$\omega$

Kreisfrequenz

$m''$

Flächenmasse des Bauteils [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

#### Formel 12: Schalldämmmaß

mit  $\omega = 2 \pi f$

#### Formel 13: Kreisfrequenz

<sup>16</sup> <https://www.baunetzwissen.de/akustik/fachwissen/waende/schalldaemmung-einschaliger-waende-147837>

mit  $m'' = \rho * d$

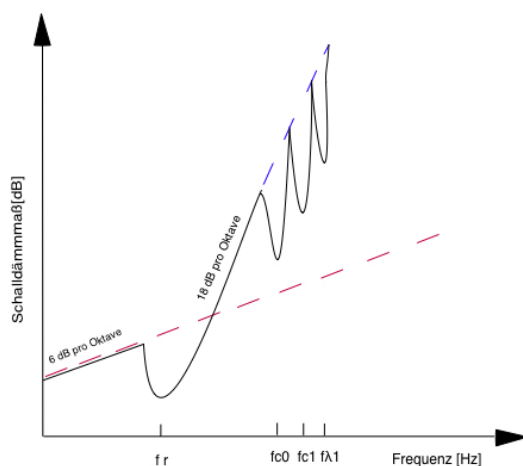
**Formel 14: Flächenbezogene Masse**

$$Z_L = \rho_L * c_L \quad Z_L \quad \text{Impedanz der Luft [kg/m}^2\text{s]}$$

**Formel 15: Luftimpedanz**

## 2.5.2 Schalldämmung zweischaliger Bauteile

Die zweischalige Wand ist eine leichtere Variante der Luftschalldämmung. Aus Kosten- und Platzgründen wird hier auf eine Massivbauweise verzichtet. Gängige Materialien sind Gipskartonplatten, die auf Holzleisten geschraubt oder in entsprechende Vorrichtungen gespannt /geklemmt werden. Bei zweischaligen Bauteilen treten im Zwischenraum der beiden Schalen Resonanzen auf, die zu einer Verschlechterung der Schalldämmung in diesem konkreten Frequenzbereich führen. Weitere Einbrüche finden bei den Frequenzen ( $f_\lambda$ ) statt, deren halbe Wellenlänge, und vielfache davon, in den Abstand zwischen den Schalen passen. Diese Einbrüche können, wie auch bei den Resonanzfrequenzen, durch das Ausfüllen mit Mineralwolle relativiert werden.



**Abbildung 10: Prinzipieller Verlauf des Schalldämmmaßes**

- (I) Die Schalldämmung der zweischaligen Wand entspricht der einer gleichschweren einschaligen Wand; die Schalen schwingen in Phase.
- (II) Die Schalldämmung der zweischaligen Wand ist schlechter als die einer gleichschweren einschaligen Wand; die Schalen schwingen mit maximaler Amplitude gegeneinander ( $f_r$ : Resonanz)
- (III) Die Schalldämmung der zweischaligen Wand ist besser als die einer gleichschweren einschaligen Wand; die Schalen schwingen unabhängig voneinander.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/29.00-vor30.htm>

## 3 EASE Simulation

Zur Simulation der geplanten Änderungen im Orgelraum und im Kirchenschiff verwendeten wir die Raumakustiksoftware EASE. Sie bietet umfassende Möglichkeiten zur raumakustischen Analyse eines Modells, welches beliebig angepasst und dargestellt werden kann.

Als Ausgangspunkt diente uns die Datei unserer Vorgänger. Nachdem wir uns erste Kenntnisse in EASE angeeignet hatten, begannen wir mit ersten Untersuchungen an einem stark vereinfachten Rechteckraum.

### 3.1 Grundlagen und Ausgangssituation

Der erste Schritt war es nun das Modell unserer Vorgänger zu verstehen und die entsprechenden Untersuchungen unserer Vorgänger nachzuvollziehen. Bei anfänglichen Veränderungsversuchen am Modell fielen uns die ersten Tücken der Software auf. Um das häufige Auftreten von Löchern in unseren Veränderungen zu vermeiden, vereinfachten wir das Modell und entfernten alle überflüssigen und doppelten Punkte, Linien und Flächen. Außerdem entfernten wir die minimale Schrägstellung der Kirche zur x-Achse. Diese war von unseren Vorgängern nicht so beabsichtigt und entstand durch geringe Messfehler beim Ausmessen der Kirche.

Da zum Zeitpunkt der Messung der Kirche durch unsere Vorgänger die Orgel eingebaut war, wurde der Orgelraum entweder an Hand der anderen Maße ermittelt oder geschätzt. Wir haben nun den Orgelraum im Zustand ohne Orgel ausmessen können und das Modell mit den neuen Werte ergänzt. Außerdem haben wir den Torbogen im oberen Bereich des Orgelraums auch neu ausgemessen und in unser Modell eingefügt, da dieser nicht, wie von unseren Vorgängern angenommen, nach dem sichtbaren Bogen endet, sondern in einer Abstufung weiter nach hinten in den Orgelraum hinein fortgeführt wird. Eine Tür, welche sich im rechten Oberwerk befand und erst nach dem Ausbau der Orgel ersichtlich war, war deshalb im Modell unserer Vorgänger nicht enthalten. Wir verzichteten ebenfalls darauf, da sie während unserer Arbeiten zugemauert wurde und somit keine Relevanz mehr für akustische Betrachtungen besaß.

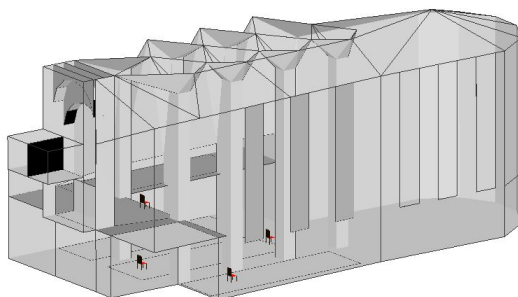


Abbildung 11: Ausgangszustand des Kirchenmodells

## **4 Bisherige Erfahrungen mit der Akustik der Kirche**

Wenn man sich in der Kirche befindet, bemerkt man als Erstes die hohe Nachhallzeit, welche die Kommunikation stark erschwert und Musik oder definierte Signale im Allgemeinen verschmiert. Die Wirkung der transmittierenden und leitenden Bauteile im Bereich um die Orgel werden durch die Anregung des Raumes mit einer vergleichsweise lauten Schallquelle deutlich. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die Schallquelle auch im Turmaufgang hinter dem Orgelraum sehr deutlich wahrgenommen werden kann und dass selbige Schallquelle im Orgelraum eher gefangen wirkt und bestimmte Frequenzanteile (vorwiegend tiefe Frequenzen) im Kirchenschiff gar nicht oder nur schwach ankommen.

## 5 Messungen

### 5.1.1 Verwendete Geräte

Als Signalquelle dient der NTI Signalgenerator aus den NTI-Messgerätekoffern der Hochschule, der über den Endstufenverstärker des Praktikums eine Dodekaederbox beliefert. Der Generator liefert eine Ausgangsspannung von 700 mV und der Verstärker einen Pegel von -6 dBu.

### 5.1.2 Messpunkte

Die Idee hinter den Messungen war es, den Eindruck der Gäste bei Veranstaltungen mit objektiven Werten zu überprüfen. Deswegen wurden die Messpunkte eins bis vier von unseren Vorgängern übernommen und die Mikrofone in einer Höhe von 1,20 m aufgestellt. Dies entspricht der Höhe des Ohres eines durchschnittlich großen, sitzenden Menschen.

Des Weiteren wurde ein Messpunkt für den Organisten und einer für den Chor gewählt, um mögliche Klangunterschiede zwischen Empore und Kirchenschiff festzustellen und um die Klangeindrücke der zuhörenden Parteien (Organist, Chor und Gäste) physikalisch zu messen

Messpunkt sechs wurde für die Schalldämmmessung der Orgelrückwandtüren gewählt.

- MP1: Kirchenschiff vorn
- MP2: Kirchenschiff hinten
- MP3: Seitenschiff
- MP4: Seitenschiff überdacht
- MP5: Organist
- MP6: Turmaufgang
- MP7: Chor

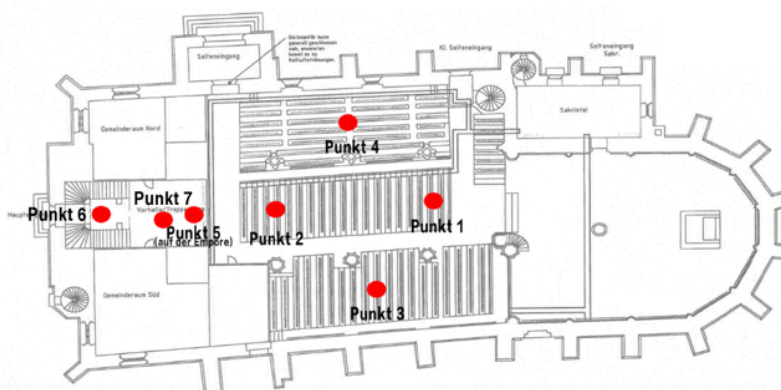


Abbildung 12: Mikrofone - Messpunkte

Die Dodekaederbox, die als Quelle diente, wurde auf vier Positionen aufgestellt:

- SP1: linkes Oberwerk
- SP2: oberes Hauptwerk
- SP3: unteres Hauptwerk
- SP4: Kirchenschiff (für Nachhallzeit)



**Abbildung 13: Dodekaederbox - Sendepunkte**

### 5.1.3 Nachhallzeit

DIN EN ISO 3382, „Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter“, Fassung März 2000, legt Verfahren zur Messung von Nachhallzeiten in Räumen fest.<sup>18</sup>

Die Nachhallzeit wird aus der gemessenen Abklingkurve des Schalldruckpegels zwischen den Pegelwerten  $-5$  dB und  $-35$  dB unter dem Anfangspegel ermittelt. Eine Auswertung bis  $-60$  dB ist zumeist nicht möglich, da der Nachhall vorher im meist vorhandenen Störpegel verschwindet. Deswegen wird nach RT30 gemessen und die Werte verdoppelt, da man von einem linearen Abfall ausgehen kann.

Die Nachhallzeit wurde mit vier Messgeräten auf vier verschiedenen Positionen im Kirchenschiff (MP 1-4) gemessen. Das Signal wurde von einer Dodekaederbox abgegeben, die ihr Signal von einem Generator über eine Endstufe erhält.

Das Signal ist ein weißes Rauschen, welches in gleichmäßigen Intervallen an- und abgeschaltet wird. Die Messgeräte starten die Messung, wenn das Signal einen einstellbaren Grenzwert übersteigt. Über drei bis fünf Messungen wird ein Ergebnis für den jeweiligen Messpunkt gemittelt.

---

<sup>18</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhallzeit>

### 5.1.4 Messung des Schalldruckes und daraus errechnete Schalleistung

Der Schalldruckpegel wurde mit den gleichen Mess- und Signalgeräten gemessen. Jedoch kamen für diese Messung sieben Messpunkte zum Einsatz. (MP 1-7)

Die Messgeräte mitteln mit jeder Messung die Werte über zehn Sekunden.

Die Schalleistung wird aus den gemessenen Schalldruckpegeln im Diffusfeld, entsprechend der folgender Formel, berechnet und über die Absorptionsfläche korrigiert.

$$L_W = \overline{L_P} + 10 \lg \left( \frac{A}{A_0} \right) [dB] \quad \text{mit } A_0 = 4 \text{ m}^2$$
$$L_P = 10 \lg p/p_0$$

**Formel 16: Schalleistungspegel**

### 5.1.5 Schalldämmmaß

Das Schalldämmmaß wurde nach weitestgehend nach DIN 16283-1 durchgeführt. Es wurden mehrere statistisch verteilte Messpunkte gewählt und unter MP6 (siehe Abbildung 12) zusammengefasst. Der abgestrahlte Pegel wurde sowohl im Senderraum (Orgelraum) als auch im Empfangsraum (Turmaufgang) gemessen und damit das Schalldämmmaß nach Formel 11 berechnet.

Die Auswertung der Schalldämmmessung für die nach ISO 717-1 vorgenommen. Dadurch kann die Verbesserung der Schalldämmung der Rückwand recht einfach über einen Einzahlwert verglichen werden.

## 5.2 Messergebnisse

### 5.2.1 Nachhallzeit

Aus den Messungen geht hervor, dass die Nachhallzeit in der Kirche mit 4,5 - 5,5 Sekunden sehr hoch ist. Dadurch leidet die Sprachverständlichkeit und Musikstücke verwaschen sehr schnell. Die gemessene Nachhallzeit liegt in dem, von Meyer empfohlenen, Bereich, wird jedoch subjektiv als sehr lang wahrgenommen.

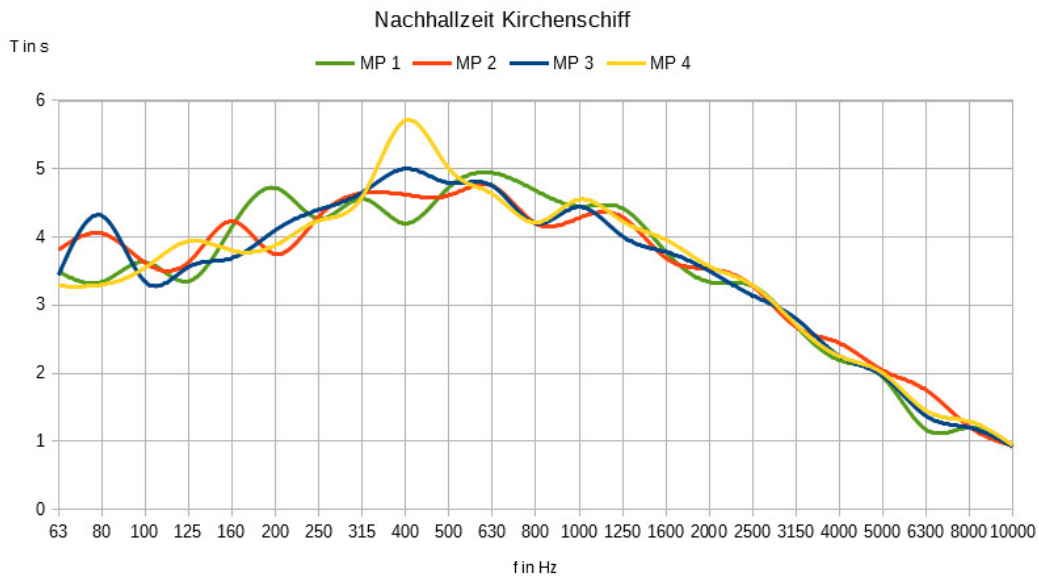


Diagramm 1: Gemessene Nachhallzeit

## 5.2.2 Schalldruckpegel

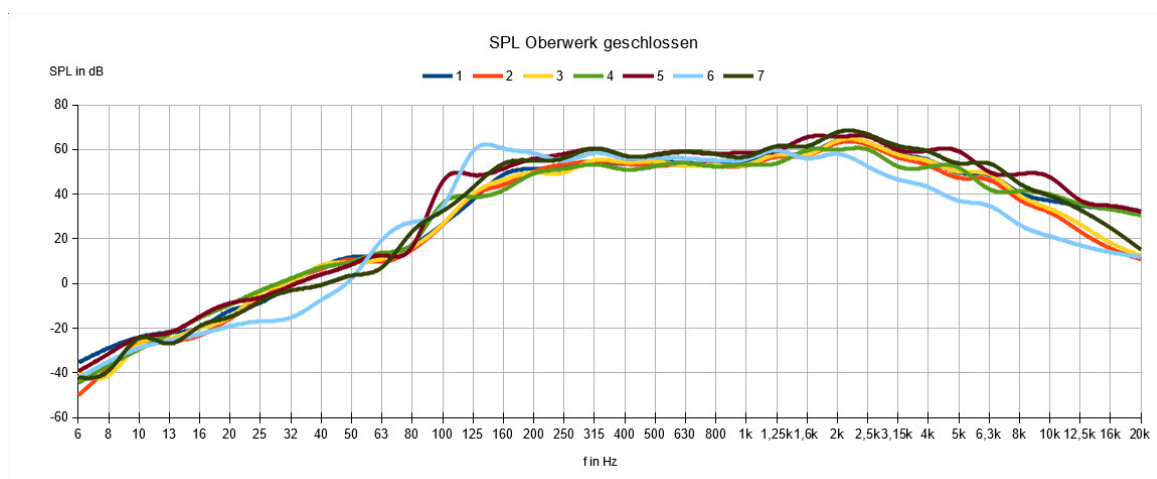


Diagramm 2: Schalldruckpegel - Oberwerk geschlossen

Für weitere Diagramme: Siehe Anlagen, Teil 1

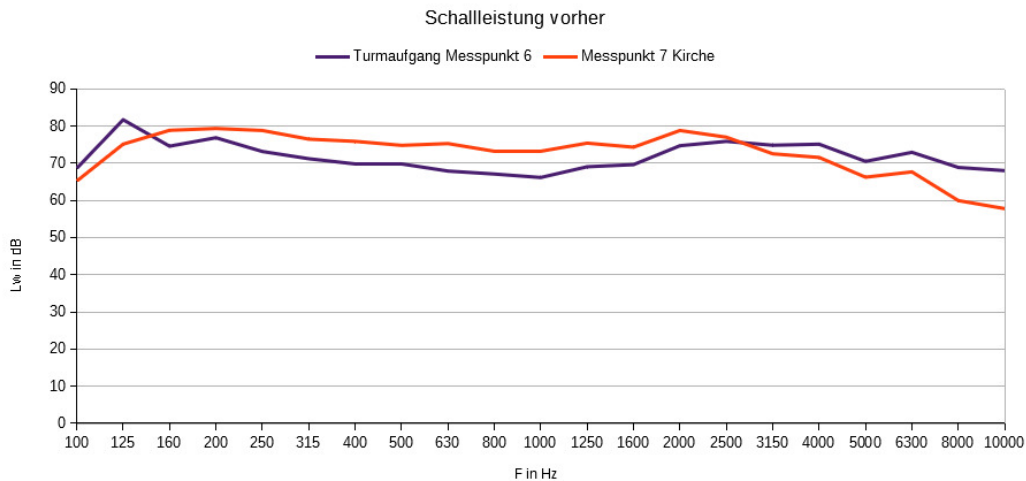
Die Messergebnisse zeigen, dass der bauakustische Einfluss des Kirchenschiffes zu vernachlässigen ist, da sich die Frequenzverläufe an den einzelnen Messpunkten sehr ähnlich sind.

Geringe Pegel im Bassbereich sind durch die Dodekaederbox zu erklären, welche Baubedingt erst ab 100 Hz ausreichend hohe Pegel abstrahlen kann. Dadurch sind Aussagen für die Bässe nur bedingt möglich. Für genauere Aussagen in diesem Frequenzbereich wird eine größere Box benötigt.



### 5.2.3 Schalleistung

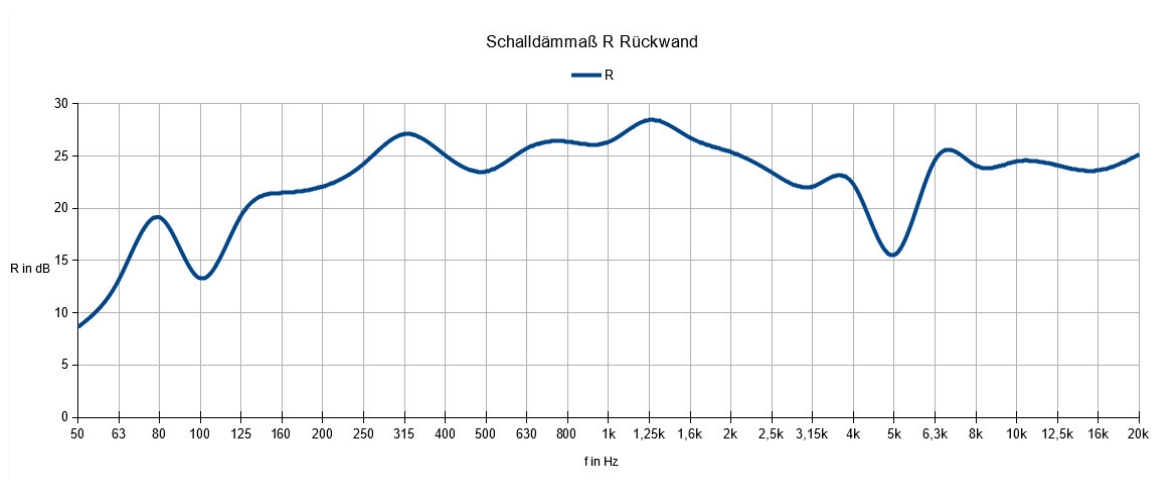
Die Schalleistung, welche nach hinten durch die Türen verloren geht, ist mit durchschnittlich 78 dB nicht zu vernachlässigen. Sie ist der Schalleistung, welche im Kirchenschiff ankommt sehr nahe, dadurch wird eine Schalldämmung der Rückwände des Orgelraumes erforderlich.



**Diagramm 3: Schalleistung vorher**

Dadurch kann man nicht von einem direkten Einfluss auf den Schall im Kirchenschiff sprechen. Da die tiefen Frequenzen jedoch nicht ausreichend angeregt wurden, können die Maßnahmen dennoch eine Verbesserung erzielen.

### 5.2.4 Schalldämmung



**Diagramm 4: Schalldämmmaß vor Türdämmung**

Der nach ISO 717-1 berechnete Einzahlwert beläuft sich auf 26 dB. Dieser durchaus niedrige Wert lässt sich durch die zwei Türen in der Wand erklären, welche aufgrund ihres Alters sehr schlecht gedämmt waren. Dazu kamen ein paar Löcher in der Wand aufgrund von Kabelführungen.

## 6 Maßnahmen

Sowohl unsere Messungen, als auch die aus dem SS2017, legen nahe, dass man die Räumlichkeiten baulich massiv umgestalten sollte. Da es sich bei der Kirche allerdings um ein historisches Gebäude unter Denkmalschutz handelt, müssen Veränderungen vorgenommen werden, welche optisch keinen oder nur minimalen Einfluss haben. Unsere vorgeschlagenen Maßnahmen finden ihre Anwendung deshalb innerhalb des Orgelraumes, da dieser durch das Orgelprospekt größtenteils verdeckt wird.

Im Allgemeinen zeigen die Messergebnisse, dass die Bauteile und Wandstücke hinter der Orgel schalltransmittierend und vor der Orgel schallleitend wirken. Das führt dazu, dass ein, nicht unerheblicher, Teil der Schallleistung nicht in die gewollte Richtung und im eigentlichen Raum, dem Kirchenschiff, angelangt. Daraus folgen Maßnahmen zur Schalldämmung der hinteren Wände und Maßnahmen zur Öffnung des Orgelprospekts (Orgelfassade)

### 6.1 Abgehangene Decke

Da sich über den Oberwerken ein erheblicher Raum befindet, haben wir geplant diesen mit einer massiven Decke zu verschließen. In diesem Raum geht entscheidend Schallleistung verloren, außerdem könnte man, mit dem richtigen Winkel der Decke, auch eine gerichtete Schallabstrahlung bewirken. Dieser Raum wird weder für die Orgel, noch für sonstige Aktivitäten der Kirche benötigt, deshalb erschien es uns am sinnvollsten ihn komplett zu verschließen.

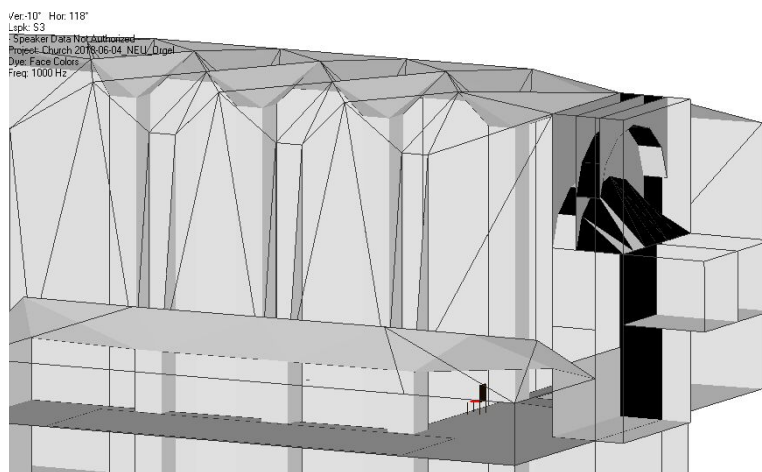
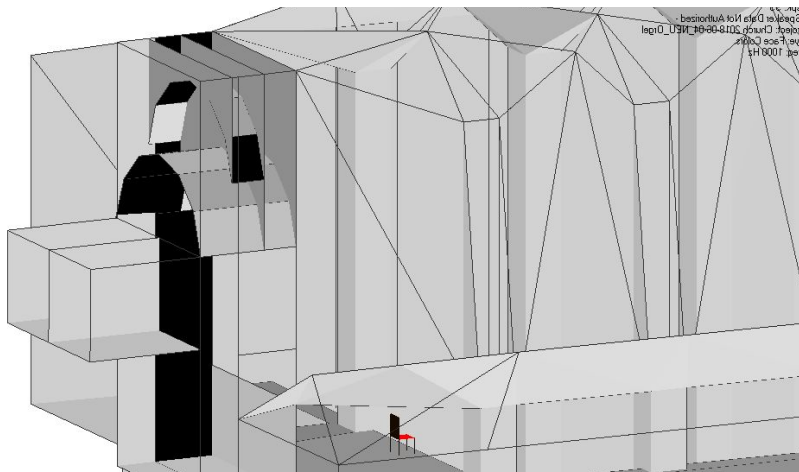


Abbildung 14: abgehangene Decke - unser Vorschlag (Erg.: Abbildung 20)



**Abbildung 15: abgehängene Decke - Vorschlag der Zimmerer (Erg.: Abbildung 19)**

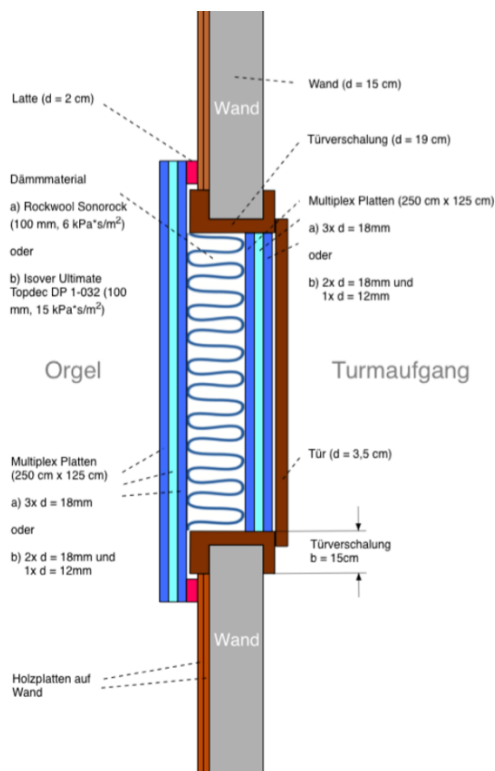
Unsere ursprüngliche Idee (Abbildung 14) war es eine, aus dreieckigen Holzplatten bestehende Decke, welche an der Oberkante der Oberwerke beginnt und an der Hinterkante des vorderen Torbogens endet, einzubauen. Diese hätte den Orgelraum entscheidend verkleinert und eine gerichtete Schallabstrahlung in das Kirchenschiff hinein zur Folge gehabt. Leider wurde dieser Vorschlag nicht umgesetzt. Sowohl der Kostenfaktor, als auch die Umsetzungsdauer überstiegen entscheidend das vorhandene Maß. Deshalb wurde uns, von Seiten der Zimmerer, ein neuer Konstruktionsplan für eine Deckenkonstruktion vorgelegt. Dieser besteht aus rechteckigen Holzplatten, welche in Halbkreisform an der Hinterkante des vorderen Torbogens angesetzt und bis zur Rückwand des Orgelraums vorgeführt werden.

Diesen Plan haben wir für unsere Untersuchungen in unser EASE-Modell integriert (Abbildung 15). Der Schallverlust im oberen Raum konnte dadurch zwar reduziert werden, aber eine gerichtete Schallabstrahlung blieb aus. Das ursprüngliche Ziel, eine Verstärkung der Lautstärke im Kirchenschiff, wurde also mit dieser Maßnahme nicht erreicht. Im Folgenden haben wir uns mit unserem Ansprechpartner bei der Kirche verständigt und ihm unser Problem mit dem Vorschlag der Zimmerer geschildert. Er versicherte uns, dass die Deckenkonstruktion nach besten Möglichkeiten angeschrägt werden wird. Außerdem erfahren wir, dass der obere Raum begehbar sein wird. Somit besteht die Möglichkeit, im Fall einer störenden Resonanz der Decke, diese zusätzlich zu beschweren oder an schwachen Punkten zu verstärken.

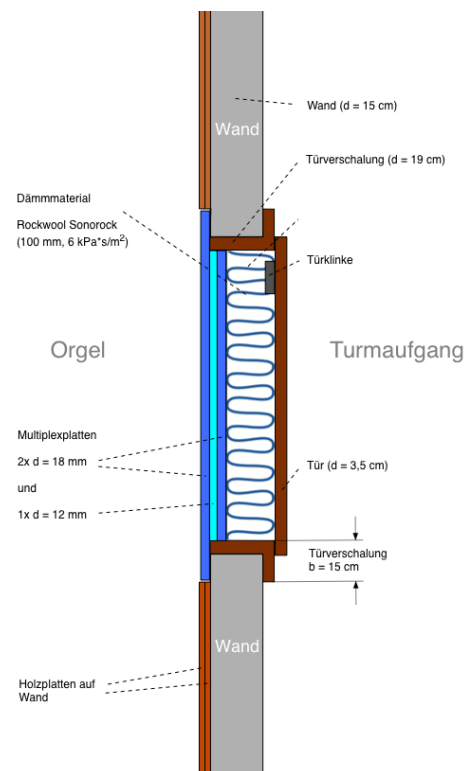
**Für weitere Diagramme:** Siehe Anlagen, Teil 2

## 6.2 Verbesserte Schalldämmung durch Dämmung der Türen in der Rückwand

Die vermessene Rückwand besitzt zwei Türen, welche eine zu geringe Schalldämmung aufweisen. Dadurch bilden sie Schwachstellen, die es zu beheben gilt. Ziel der Dämmung ist es, die Türen als Schwachstellen in der Wand zu neutralisieren und eine einheitliche Schalldämmung der gesamten Wand zu erreichen. Die Türen müssen durch den Denkmalschutz optisch erhalten bleiben. Unser Vorschlag war es, hinter die Türen eine zweischalige Dämmwand einzusetzen, wobei jede Schale aus 2x 18 mm und 1x12 mm Multiplexplatten besteht und der entstehende Hohlraum wird mit Mineralwolle ausgefüllt wird.



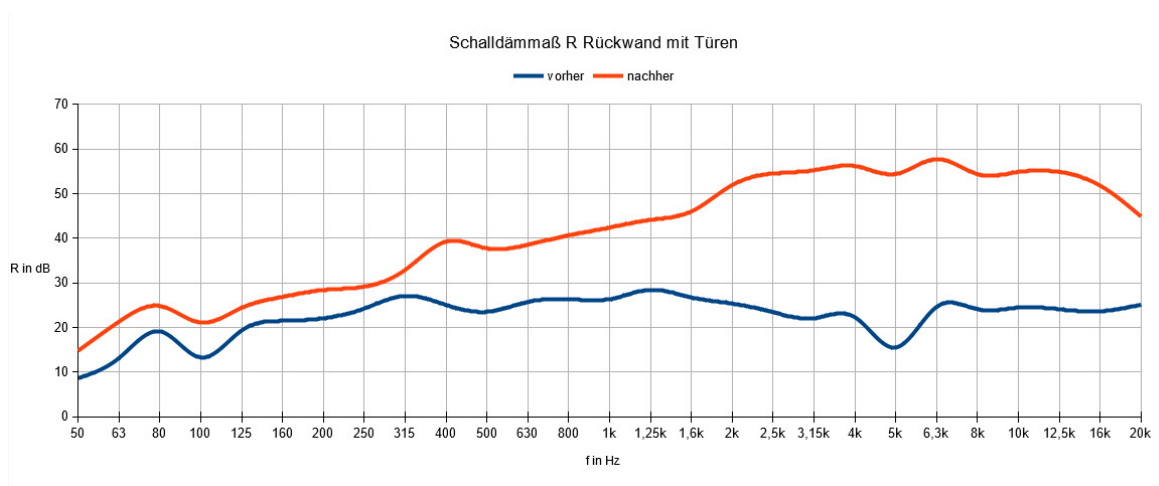
**Abbildung 16: Schalldämmung der Türen - unser Vorschlag**



**Abbildung 17: Schalldämmung der Türen - tatsächliche Umsetzung**

Diese zweischalige Wand sollte ausreichend sein, um die Schalldämmung der Türen auf das Maß der Wand anzuheben.

Allerdings weicht auch hier die Umsetzung vom Vorschlag ab. Bei der Restaurierung wurden die Türrahmen der Innenseite entfernt, was zur Folge hatte, dass es nicht mehr genug Platz für unsere geplante Wand gab. Aus diesem Grund wurde eine zweischalige Wand ausgelegt, in der das Türblatt sowohl als optische Verkleidung als auch als eine der zwei Schalen fungiert.



**Diagramm 5: Schalldämmmaß - vorher / nachher**

Die Messung nach der Durchführung der Maßnahme bestätigte, dass das Ziel erreicht wurde. Das Schalldämmmaß der Wand mit ungedämmten Türen betrug 26 dB. Nachdem die Türen gedämmt worden sind, stieg das Schalldämmmaß auf 43 dB an.

### 6.3 Massive Auskleidung der Rückwand im Oberwerk

Die Wände der Oberwerke waren vor der Restauration mit, auf Holzlatten genagelter, Presspappe ausgekleidet. Die dadurch entstehenden Zwischenräume bildeten Resonatoren, welche die Klangeigenschaften der Orgel negativ beeinflussen. Deshalb wurde die Presspappe entfernt und durch massive 18 mm Multiplexplatten ersetzt, was die flächenbezogene Masse erhöht und somit die Schalldämmung verbessert. Da auch hierbei Räume von 100 mm Breite zwischen den Platten entstehen, werden diese mit Mineralwolle ausgefüllt, welche einen Strömungswiderstand von ca. 5000-6000 Ns/m<sup>4</sup> besitzen. Dadurch werden die Einflüsse der Resonatoren drastisch reduziert.

$$m'' = 12,24 \text{ kg/m}^2$$

$$f_r = 45 \text{ Hz (Formel 6)}$$

$$f_c = 924 \text{ Hz}$$

## 6.4 Schalldämmung der Trennwand zwischen den Oberwerken

Eine massive Trennwand führt dazu, dass die Oberwerke gezielter angesteuert werden können, da die Lamellen die einzige Öffnung bilden. Ist die Trennwand schallundurchlässig, sind die Lautstärkeunterschiede und das Spiel des Organisten deutlicher und klarer wahrzunehmen. Mit dieser Motivation wurde auch die Trennwand mit massiven Holzplatten beplankt. Da die Orgel viel Platz in den Oberwerken einnimmt, musste allerdings dünneres Material ausgewählt werden. Statt 18 mm wurden 9 mm Platten eingebaut, dadurch dämmen sie zwar etwas schlechter als die Beplankung der restlichen Wände, dennoch ist es eine Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand. Da die Platten allerdings zusammengedrückt werden, wird der Abstand zwischen der beiden Platten kleiner, dadurch ist eine erhöhte Resonanzfrequenz zu erwarten

Multiplex Birke 9 mm

Dazwischen 40 mm Mineralwolle

$\rho$  (Birke) = 650 kg/m<sup>3</sup>

$c_l$  = 5200 m/s

$f_g$  = 1367,52

$f_r$  = 148 (Formel 8)

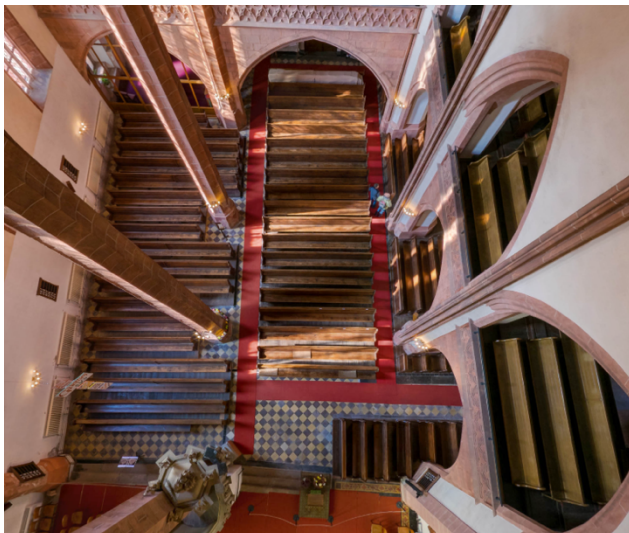
### Berechnung von Alternativen

Um die Frequenz unter 80 Hz zu halten, haben wir uns einige theoretische Lösungsansätze für Alternativen überlegt.

Lässt man den restriktiven Platz außer Acht, würde man die Resonanzfrequenz natürlich durch schwerere Platten senken (18 mm, 2x 18 mm, 2x 25 mm). Eine andere Möglichkeit wäre es, den Abstand zu vergrößern. Da der Abstand allerdings durch die stützenden Holzlatten festgelegt ist, könnte man auch über eine andere Holzart nachdenken z.B. Azobè.

## 6.5 Sitzkissen

Da es aus Gründen des Denkmalschutzes nicht möglich ist größere Absorptionsflächen unauffällig an den Wänden der Kirche anzubringen war unsere Idee, die Sitzflächen des Kirchenschiffs (Abbildung 18) mit Polstern auszukleiden, da zwar Sitzkissen in der Kirche vorhanden, aber nicht dauerhaft auf den Sitzflächen und Lehnen angebracht sind. Dadurch wird der Unterschied zwischen vollbesetztem und leerem Gebäude reduziert. Des Weiteren kann die Sprachverständlichkeit und der Klangeindruck von Musik durch diese Maßnahme verbessert werden.



**Abbildung 18: Sitzflächen des Kirchenschiffs<sup>19</sup>**

Um die Wirksamkeit dieser Maßnahme zu verifizieren haben wir in EASE die Kirchenbänke ohne Polsterung, mit Bänken mit Polsterung, bezüglich der Nachhallzeit verglichen (Diagramm 6). Wir sind zu dem Ergebnis gekommen, dass durch diese Maßnahme durchaus eine Verbesserung dadurch erreicht werden kann, auch wenn der optimale Wert für die Nachhallzeit der Kirche nicht erreicht wird. Eine Verbesserung der Nachhallzeit wird natürlich auch durch die Absorption, welche durch die Besucher der Kirche herbeigeführt wird, festzustellen sein. Trotzdem wäre diese Maßnahme sinnvoll, da die Kirche nur in den seltensten Fällen vollständig besetzt ist und die unbesetzten Plätze ansonsten keine Polsterung besitzen. Eine Senkung der Nachhallzeit von durchschnittlich 0,8 Sekunden und Maximalsenkungen von über 1,5 Sekunden werden sich deutlich positiv auf die Sprachverständlichkeit in der Kirche auswirken. Somit kann man sagen, dass diese Veränderung der Sitzbänke zur Verbesserung der Klarheit und Sprachverständlichkeit beiträgt

---

<sup>19</sup> [https://www.360-grad-sachsen.de/panos/stadtkirche\\_mittweida/stadtkirche\\_mittweida.html](https://www.360-grad-sachsen.de/panos/stadtkirche_mittweida/stadtkirche_mittweida.html)

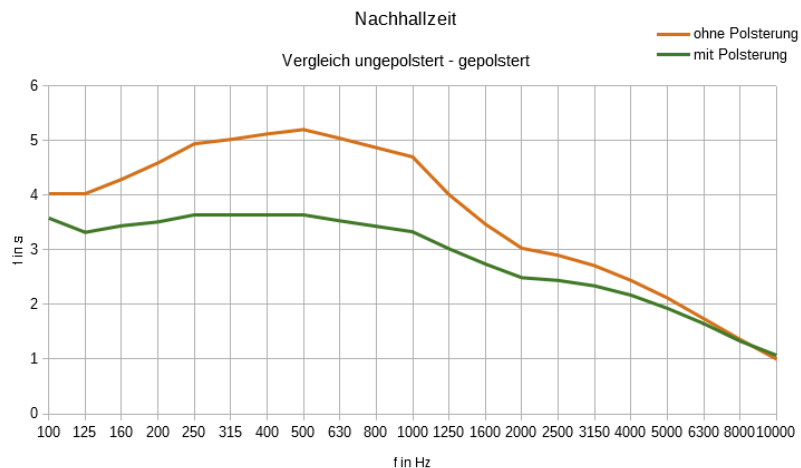


Diagramm 6: Vergleich der Nachhallzeiten (Erg.: Diagramm 13, 14, 15)<sup>20</sup>

## 6.6 Öffnung des Orgelprospekts

Da die Fassade der Orgel recht undurchlässig ist, wurden bestimmte Teile der Verkleidung abgeschraubt und auf Abstandshalter fixiert. Die dadurch entstehenden Öffnungen sollen dafür sorgen, dass der Schall besser durch das Orgelprospekt in das Kirchenschiff gelangen kann. Konkrete Erfolge konnten durch unsere Messungen, aus den bekannten Gründen, nur bedingt nachgewiesen werden.

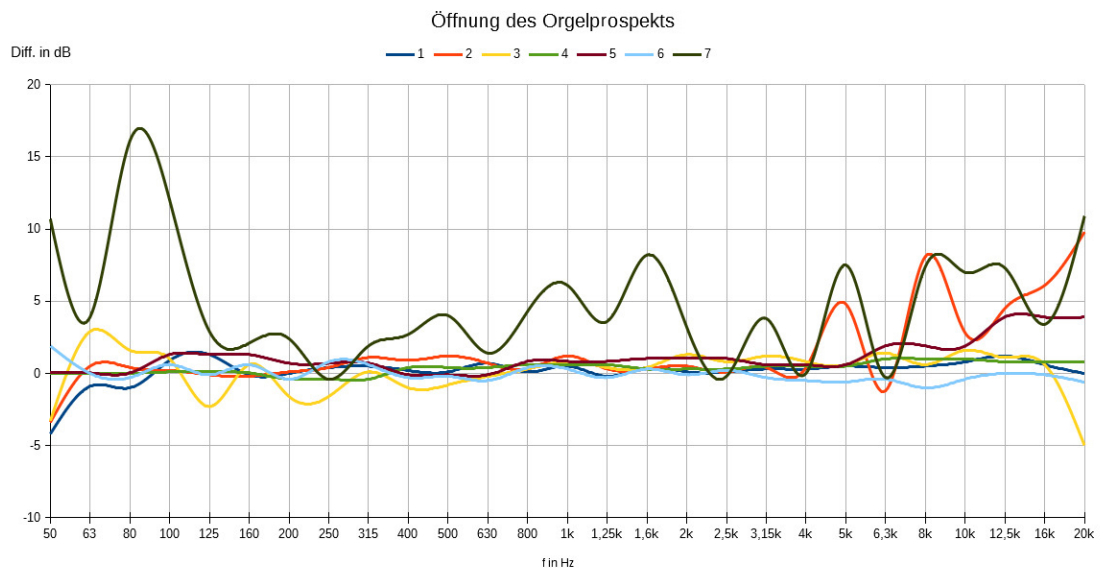


Diagramm 7: Unteres Hauptwerk - offen / geschlossen

<sup>20</sup> <http://sengpielaudio.com/Rechner-RT60Koeff.htm>



## 7 Zusammenfassung

Zusammenfassend wurde durch Vermessung der Bauteile im Orgelraum, dessen Einfluss auf die Akustik der Orgel analysiert. Durch Maßnahmen der Schalleitung (Decke, Öffnung des Orgelprospekts), kann der Schall gezielter das Kirchenschiff erreichen. Eine verbesserte Schalldämmung der Rückseite des Orgelraumes sorgt dafür, dass weniger Schallleistung durch Resonanzräume und ungewollte Öffnungen verloren geht.

Das Programm EASE konnte erfolgreich genutzt werden, um den optimalen Winkel der geplanten Decke nachzuweisen, unabhängig von dem tatsächlichen Einbau. Allerdings ist EASE kein Programm zur Simulation von Schalldämmung und konnte aus diesem Grund nicht für diese Aufgabe eingesetzt werden.

Endgültige Erfolge der Maßnahmen benötigen weitere Messungen mit der fertig eingebauten und gereinigten Orgel. Diese Messungen würden zudem den Einfluss der Reinigung erfassen.

## Literaturverzeichnis

- 1 [https://de.wikipedia.org/wiki/Unser\\_Lieben\\_Frauen\\_\(Mittweida\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Unser_Lieben_Frauen_(Mittweida))
- 2 <https://www.zvab.com/kunst-grafik-poster/Mittweida-Sachsens-Kirchen-Galerie-Mittweida-Dresden-Hermann/16811875341/bd>
- 3 <https://kirchgemeinde-mittweida.jimdo.com/start/mittweida/>
- 4 <http://orgelverein-mittweida.de/ladegast-jehmlich-orgel/>
- 5 <https://www.betterplace.org/de/projects/45503-restaurierung-der-ladegast-jehmlich-orgel-mittweida>
- 6 <http://www.sengpielaudio.com/RT60-02.gif>
- 7 [https://books.google.com/books?id=HVMi-AAAAQBAJ&pg=PA32&lpg=PA32&dq=Knudsensche+Nachhallformel&source=bl&ots=UhPC3tUOVE&sig=KFkxH9bde9eM-Yugk9ego7nw9Ps&hl=de&sa=X&ved=2ahUKEwiT-kKztk6fdAhXOmQ0KHeqtC\\_QQ6AEwAHoECAMQAQ#v=one-page&q=Knudsensche%20Nachhallformel&f=false](https://books.google.com/books?id=HVMi-AAAAQBAJ&pg=PA32&lpg=PA32&dq=Knudsensche+Nachhallformel&source=bl&ots=UhPC3tUOVE&sig=KFkxH9bde9eM-Yugk9ego7nw9Ps&hl=de&sa=X&ved=2ahUKEwiT-kKztk6fdAhXOmQ0KHeqtC_QQ6AEwAHoECAMQAQ#v=one-page&q=Knudsensche%20Nachhallformel&f=false)
- 8 Meyer 2003, S. 152
- 9 Meyer 2003, S. 145
- 10 <https://www.baunetzwissen.de/akustik/fachwissen/grundlagen/optimale-nachhallzeiten-147629>
- 11 <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/29.00-vor30.htm>
- 12 [http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Schall/Schall\\_Bauwerk/Kennwerte/Luftschalldaemmung\\_Messung.html](http://www.bph.hbt.arch.ethz.ch/Filep/Schall/Schall_Bauwerk/Kennwerte/Luftschalldaemmung_Messung.html)
- 13 <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/30.00-vor31.htm>
- 14 <https://www.baunetzwissen.de/akustik/fachwissen/schalluebertragung/bewertung-der-schalldaemmung-147673>
- 15 <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/30.00-vor31.htm>
- 16 <https://www.baunetzwissen.de/akustik/fachwissen/waende/schalldaemmung-einschaliger-waende-147837>
- 17 <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/Buch/29.00-vor30.htm>
- 18 <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhallzeit>
- 19 [https://www.360-grad-sachsen.de/panos/stadtkirche\\_mittweida/stadtkirche\\_mittweida.html](https://www.360-grad-sachsen.de/panos/stadtkirche_mittweida/stadtkirche_mittweida.html)
- 20 <http://sengpielaudio.com/Rechner-RT60Koeff.htm>

# Anlagen, Teil 1

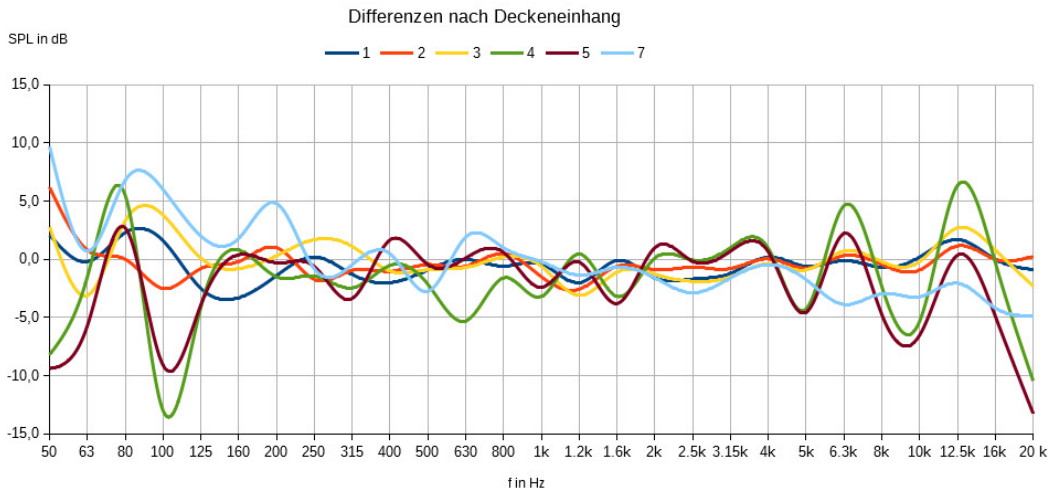


Diagramm 8: Schalldruckpegel - Differenzen nach Deckeneinhang

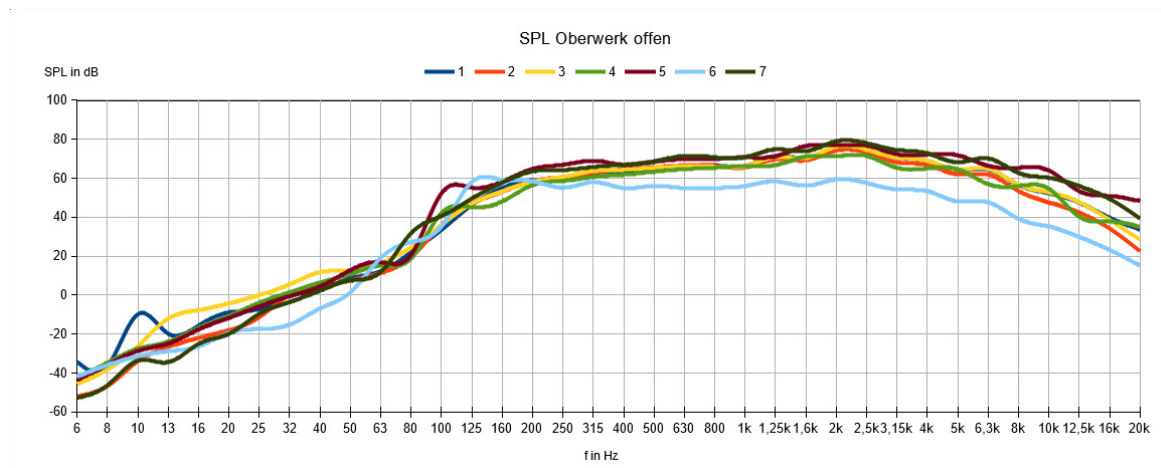


Diagramm 9: Schalldruckpegel - Oberwerk offen

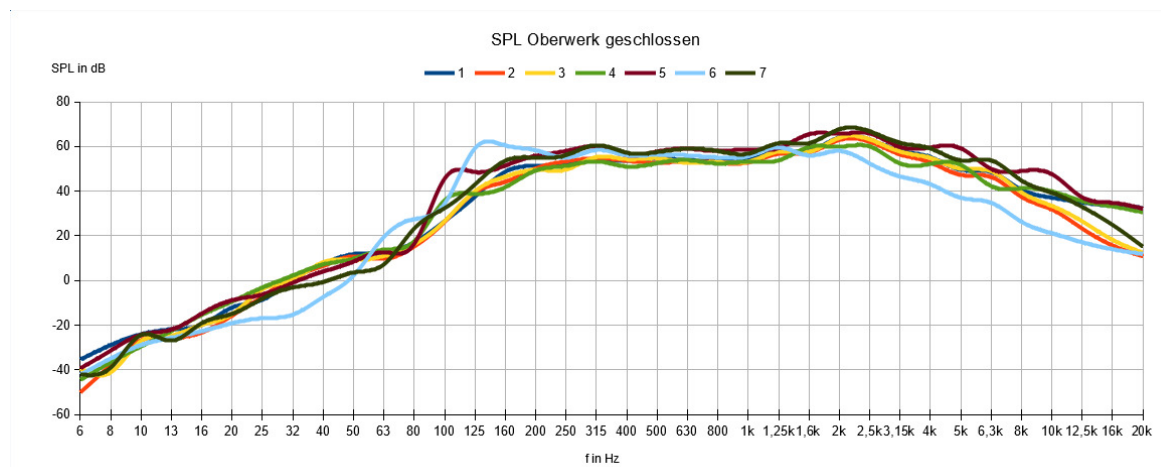
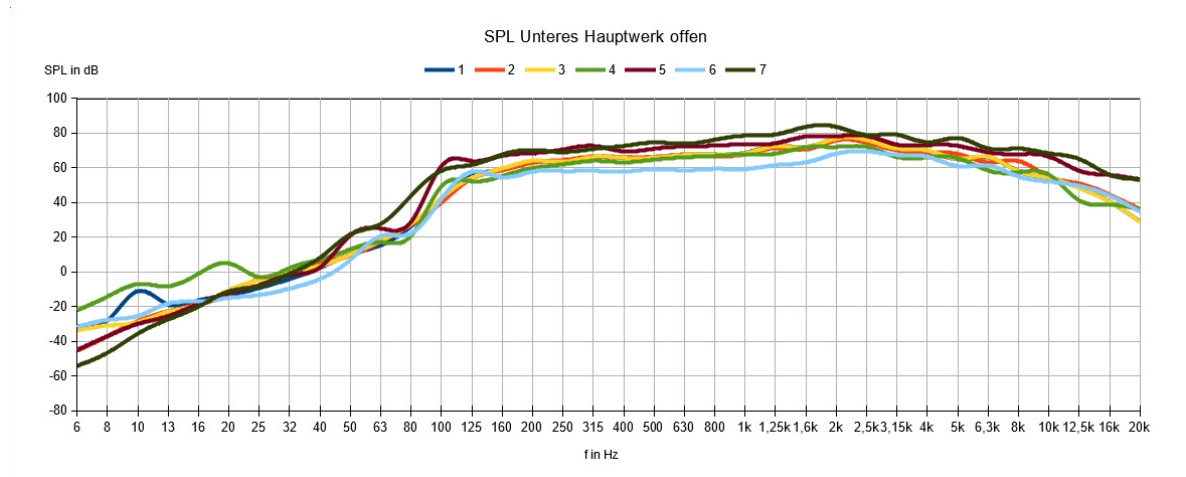
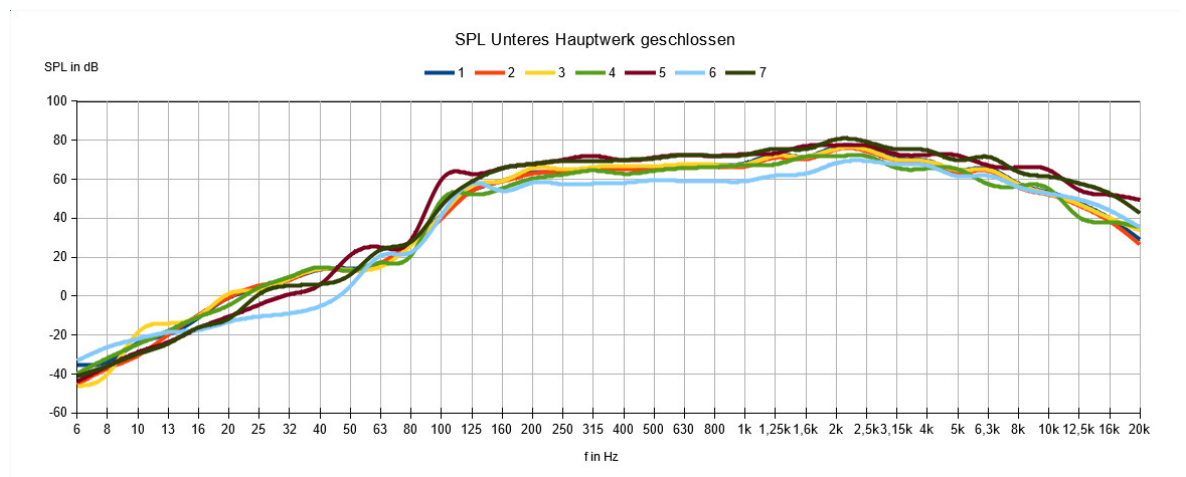
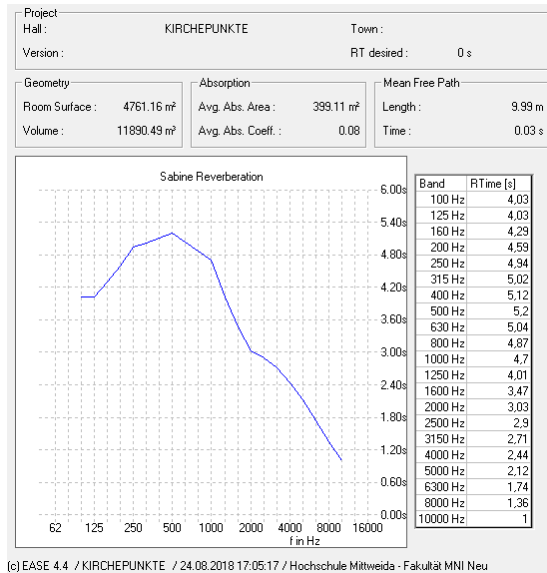


Diagramm 10: Schalldruckpegel - Oberwerk geschlossen

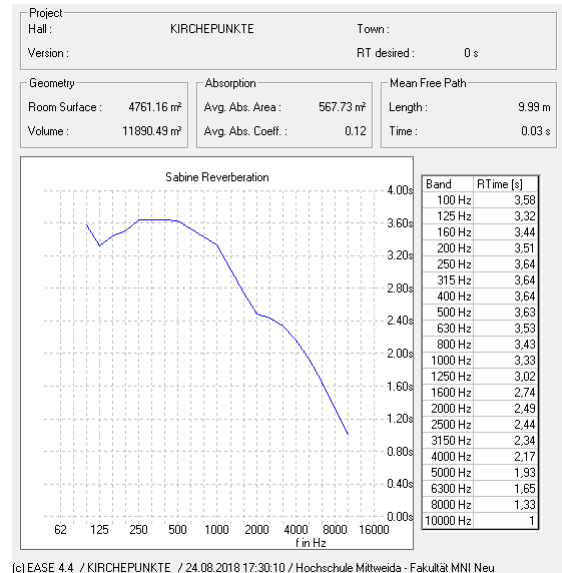
**Diagramm 11: Schalldruckpegel - Unteres Hauptwerk offen****Diagramm 12: Schalldruckpegel - Unteres Hauptwerk geschlossen**

# Anlagen, Teil 2

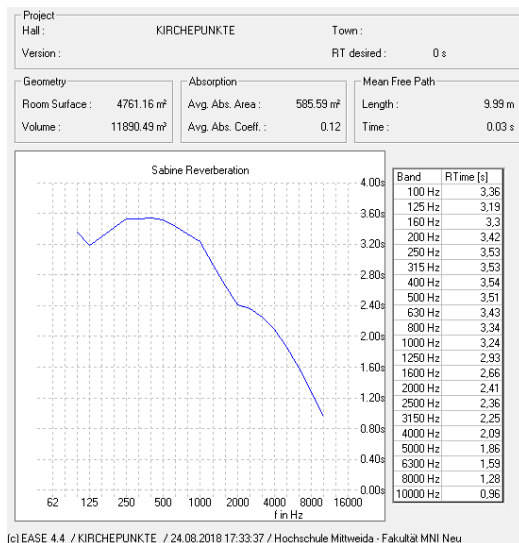
## EASE: Ergänzende Diagramme



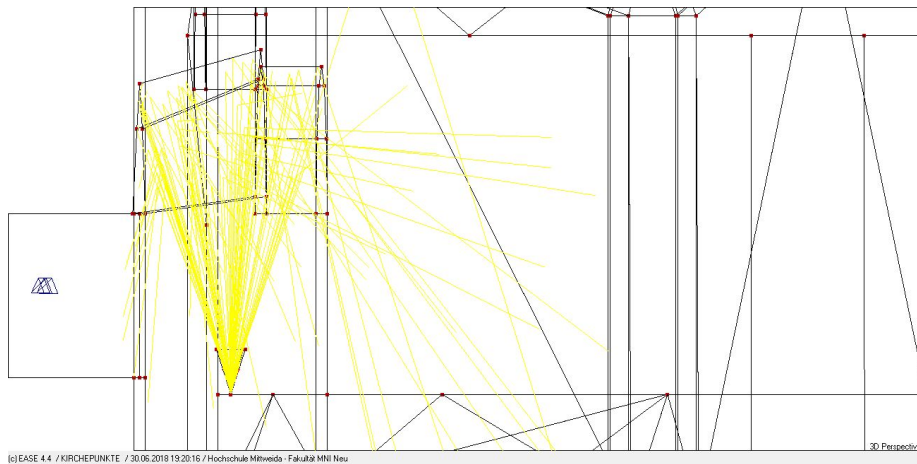
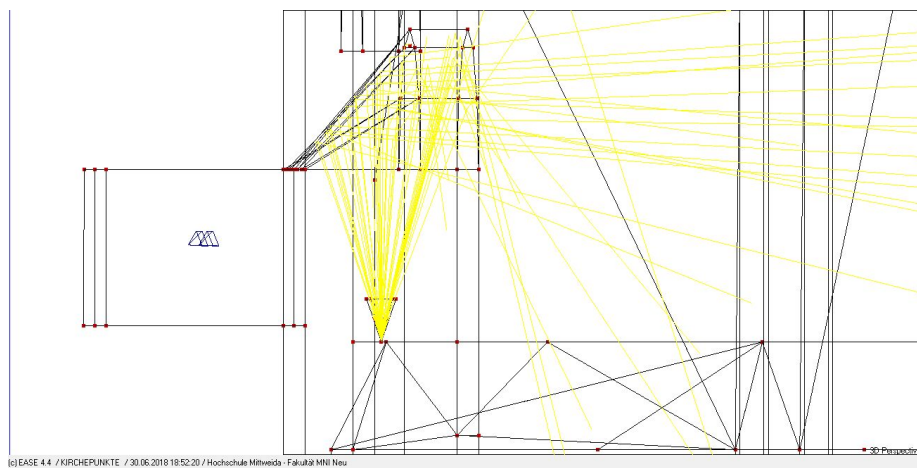
**Diagramm 13: ohne Polsterung (berechnete Werte - EASE)**



**Diagramm 14: mit Polsterung (berechnete Werte - EASE)**



**Diagramm 15: mit Polsterung und vollbesetzt (berechnete Werte - EASE)**

**EASE: Ergänzende Abbildungen****Abbildung 19: nach Konstruktionsplan der Zimmerer (simuliert bei 1000 Hz)****Abbildung 20: unser Vorschlag (simuliert bei 1000 Hz)**

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt haben.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

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

Mittweida, den 23.08.2018