

Müller-BBM GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1 - 5
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dr.-Ing. Andreas Meier
Telefon +49(89)85602 325
Andreas.Meier@mbbm.com

05. November 2021
M77692/31 Version 1 MR/HCK

**Vorhang
BÜHNENSAMT PUCCINI,
Firma Tüchler,
glatt und gerafft hängend**

**Messung der Schallabsorption
im Hallraum gemäß DIN EN ISO 354**

Prüfbericht Nr. M77692/31

| | |
|------------------------------|--|
| Auftraggeber: | TÜCHLER Bühnen- & Textiltechnik GmbH Rennbahnweg 78 1220 Wien Österreich |
| Bearbeitet von: | Dr.-Ing. Andreas Meier Jan-Lieven Moll |
| Berichtsdatum: | 05. November 2021 |
| Lieferdatum der Prüfobjekte: | 25. Oktober 2021 |
| Prüfdatum: | 02. November 2021 |
| Berichtsumfang: | 14 Seiten insgesamt, davon 6 Seiten Textteil 2 Seiten Anhang A 2 Seiten Anhang B 4 Seiten Anhang C |

Müller-BBM GmbH
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|----------------------------------|----------|
| 1 | Aufgabenstellung | 3 |
| 2 | Grundlagen | 3 |
| 3 | Prüfobjekt und Prüfaufbau | 4 |
| 3.1 | Prüfobjekt | 4 |
| 3.2 | Prüfaufbau | 4 |
| 4 | Prüfverfahren | 5 |
| 5 | Auswertung | 5 |
| 6 | Messergebnisse | 5 |
| 7 | Anmerkungen | 6 |

Anhang A: Prüfzeugnisse

Anhang B: Fotos

Anhang C: Beschreibung des Prüfverfahrens,
des Prüfstands und der Prüfmittel

1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Firma TÜCHLER Bühnen- & Textiltechnik GmbH, wurde die Schallabsorption des Vorhangs mit der Artikelbezeichnung „BÜHNENSAMT PUCCINI“ im Hallraum nach ISO 354 [1] ermittelt.

Der Stoff wurde mit 100 mm Abstand zur Rückwand geprüft. Die Prüfungen des Vorhang erfolgten für eine glatter und eine geraffter hängende Anordnung mit 100% Stoffzugabe.

2 Grundlagen

Diesem Prüfbericht liegen folgende Unterlagen zugrunde:

- [1] DIN EN ISO 354: Akustik - Messung der Schallabsorption in Hallräumen (ISO 354:2003); Deutsche Fassung EN ISO 354:2003. 2003-12
- [2] DIN EN ISO 11654: Akustik - Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden - Bewertung der Schallabsorption (ISO 11654:1997); Deutsche Fassung EN ISO 11654:1997. 1997-07
- [3] ASTM C 423-17: Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method. Revision: 17. February 2017
- [4] ISO 9613-1: Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: calculation of the absorption of sound by the atmosphere. 1993-06
- [5] DIN EN ISO 12999-2: Akustik – Bestimmung und Anwendung der Messunsicherheiten in der Bauakustik Teil 2: Schalldämpfung (ISO 12999-2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 12999-2:2020. 2020-11
- [6] DIN EN ISO 9053-1: Akustik – Bestimmung des Strömungswiderstandes, Teil 1: Verfahren mit statischer Luftströmung (ISO 9053-1:2018); Deutsche Fassung EN ISO 9053-1:2018. 2019-03
- [7] DIN EN ISO 5084: Textilien – Bestimmung der Dicke von Textilien und textilen Erzeugnissen (ISO 5084:1996); Deutsche Fassung EN ISO 5084:1996. 1996-10

3 Prüfobjekt und Prüfaufbau

3.1 Prüfobjekt

Das geprüfte Gewebe wird vom Hersteller wie folgt beschrieben:

- Bezeichnung: BÜHNENSAMT PUCCINI
- Material: 100 % Baumwolle

Durch die Prüfstelle wurden anhand einer Probe (210 mm x 297 mm) aus dem Prüfmaterial folgende Parameter ermittelt:

- Dicke gemäß DIN EN ISO 5084 [6]
(3 Positionen, Druck 1.00 kPa, Druckstempel 2.000 mm²): $t = 1,76 \text{ mm}$
- spezifischer Strömungswiderstand
gemäß DIN EN ISO 9053-1 [5]: $R_s = 4782 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$
- flächenbezogene Masse: $m'' = 486 \text{ g/m}^2$

3.2 Prüfaufbau

Der Einbau der Prüfobjekte im Hallraum erfolgte durch Mitarbeiter der Prüfstelle.

Der Aufbau erfolgte gemäß Montagetyp G-100 nach DIN EN ISO 354 [1]. Die Prüfanordnung lässt sich wie folgt beschreiben:

- Vorhangbahnen befestigt an einer Metallschiene, die direkt an der Hallraumdecke angebracht wurde, die Höhe der Schiene betrug 90 mm, der Stoff wurde mit 60 mm Überlappung an der Schiene befestigt
- Konfektioniert als Fertigvorhang, bei 100 % Stoffzugabe in zwei Bahnen mit 20 mm Überlappung am Vertikalstoß
- Prüfaufbau mit freien Vorhangkanten seitlich und unten (kein Umfassungsrahmen)

Die Testanordnungen sind in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Übersicht der getesteten Vorhangaufbauten.

| Prüfzeugnis Anhang A, Seite | Abstand zur Rückwand | Vorhang | Stoffabmessungen $B \times H$ | Prüffläche (ab Unterkante Deckenschiene) $B \times H = S$ |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|--|
| 1 | 100 mm | glatt hängend | 1 Vorhangbahn 3,76 m x 2,83 m | 3,76 m x 2,77 m = 10,41 m ² |
| 2 | 100 mm | gerafft hängend, 100 % Zugabe | 2 Vorhangbahnen, je 3,76 m x 2,83 m | 3,75 m x 2,77 m = 10,39 m ² |

Weitere Angaben zu den Prüfaufbauten sind in den Prüfzeugnissen in Anhang A und in den Fotos in Anhang B enthalten.

4 Prüfverfahren

Die Messungen wurden nach DIN EN ISO 354 [1] durchgeführt.

Das Prüfverfahren, der Prüfstand und die verwendeten Prüfmittel sind in Anhang C beschrieben.

5 Auswertung

Es wurde der Schallabsorptionsgrad α_s in Terzen zwischen 100 Hz und 5.000 Hz gemäß DIN EN ISO 354 [1] bestimmt.

Zusätzlich wurden nach DIN EN ISO 11654 [2] folgende Kennwerte ermittelt:

- Praktische Schallabsorptionsgrade α_p in Oktavbändern
- Bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w als Einzahlangabe:

Der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w wird aus den praktischen Schallabsorptionsgraden α_p in den Oktavbändern zwischen 250 Hz und 4.000 Hz ermittelt.

Nach der ASTM C 423-17 [3] wurden folgende Kennwerte ermittelt:

- noise reduction coefficient *NRC* als Einzahlangabe:
Arithmetischer Mittelwert der Schallabsorptionsgrade in den vier Terzbändern 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz und 2.000 Hz; Mittelwert auf 0,05 gerundet
- sound absorption average *SAA* als Einzahlangabe:
Arithmetischer Mittelwert der Schallabsorptionsgrade in den zwölf Terzbändern zwischen 200 Hz und 2.500 Hz; Mittelwert auf 0,01 gerundet

6 Messergebnisse

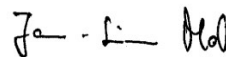
Die Schallabsorptionsgrade α_s in Terzbändern, die praktischen Schallabsorptionsgrade α_p in Oktavbändern sowie die Einzahlangaben (α_w , *NRC* und *SAA*) sind den Prüfzeugnissen in Anhang A zu entnehmen.

7 Anmerkungen

Die ermittelten Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Gegenstände und beschriebenen Zustände.



Dr.-Ing. Andreas Meier
(Projektleiter)



Jan-Lieven Moll
(Projektbearbeiter)

Dieser Prüfbericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM.

Angaben zur Präzision der Messungen sind im Anhang C angegeben. Für die Zuordnung zur Schallabsorberklasse wurde in Übereinstimmung mit DIN EN ISO 11654 [2] keine Unsicherheit benannt.



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14119-07-00

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018
akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt nur für den in der
Urkundenanlage aufgeführten Akkreditierungsumfang.

Schallabsorptionsgrad nach ISO 354

Messung der Schallabsorption in Hallräumen

Auftraggeber: TÜCHLER Bühnen- und Textiltechnik GmbH,
Rennbahnweg 78, 1220 Wien

Prüfgegenstand: BÜHNENSAMT PUCCINI, Typ G-100, glatt hängend

Vorhangstoff:

Angaben des Auftraggebers

- Bezeichnung BÜHNENSAMT PUCCINI

- Material 100 % Baumwolle

Angaben der Prüfstelle

- flächenbezogene Masse $m'' = 486 \text{ g/m}^2$

- Strömungswiderstand $R_S = 4782 \text{ Pa s/m}$

- Dicke $t = 1,76 \text{ mm}$

Prüfanordnung:

- Montagetyp G-100 nach DIN EN ISO 354

- glatt hängend vor der Hallraumwand

- aufgehängt an 90 mm hoher Deckenschiene an der Hallraumdecke (60 mm Überlappung),
Abstand zur Rückwand 100 mm

- Aufbau ohne Umfassungrahmen

- konfektioniert als Fertigvorhang 3760 mm x 2830 mm,
Oberkante mit Gurtbandverstärkung und Ösen alle 10 cm

- Prüffläche $B \times H = 3,76 \text{ m} \times 2,77 \text{ m}$ (ab Unterkante Deckenschiene)

Raum: E

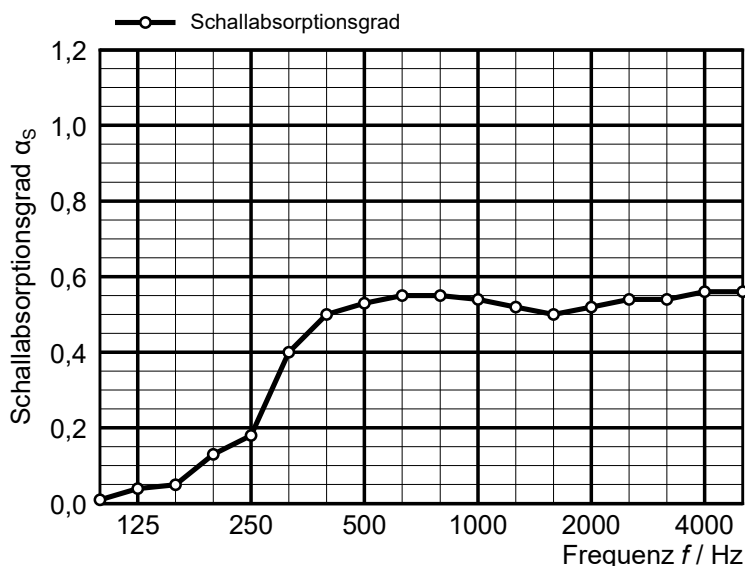
Volumen: 199,60 m³

Prüffläche: 10,41 m²

Prüfdatum: 02.11.2021

| | θ [°C] | $r. h.$ [%] | B [kPa] |
|------------|---------------|-------------|-----------|
| Ohne Probe | 21,0 | 39,7 | 93,8 |
| Mit Probe | 21,0 | 39,7 | 93,8 |

| Frequenz [Hz] | α_s Terz | α_p Oktave |
|------------------|--------------------|----------------------|
| 100 | 0,01 | 0,05 |
| 125 | 0,04 | |
| 160 | 0,05 | |
| 200 | 0,13 | 0,25 |
| 250 | 0,18 | |
| 315 | 0,40 | |
| 400 | 0,50 | 0,55 |
| 500 | 0,53 | |
| 630 | 0,55 | |
| 800 | 0,55 | 0,55 |
| 1000 | 0,54 | |
| 1250 | 0,52 | |
| 1600 | 0,50 | 0,50 |
| 2000 | 0,52 | |
| 2500 | 0,54 | |
| 3150 | 0,54 | 0,55 |
| 4000 | 0,56 | |
| 5000 | 0,56 | |



◦ Absorptionsfläche kleiner als 1,0 m²

α_s Schallabsorptionsgrad nach ISO 354

α_p Praktischer Schallabsorptionsgrad nach ISO 11654

Bewertung nach ISO 11654:
Bewerteter Schallabsorptionsgrad
 $\alpha_w = 0,50$
Schallabsorberklasse: D

Bewertung nach ASTM C423:
Noise Reduction Coefficient NRC = 0,45
Sound Absorption Average SAA = 0,45

MÜLLER-BBM

Planegg, 05.11.2021
Prüfbericht Nr. M77 692/31

X. Heier

Anhang A
Seite 1

Schallabsorptionsgrad nach ISO 354

Messung der Schallabsorption in Hallräumen

Auftraggeber: TÜCHLER Bühnen- und Textiltechnik GmbH,
Rennbahnweg 78, 1220 Wien

Prüfgegenstand: BÜHNENSAMT PUCCINI, Typ G-100, gerafft 100% Zugabe

Vorhangstoff:

Angaben des Auftraggebers

• Bezeichnung BÜHNENSAMT PUCCINI

• Material 100 % Baumwolle

Angaben der Prüfstelle

• flächenbezogene Masse $m'' = 486 \text{ g/m}^2$

• Strömungswiderstand $R_S = 4782 \text{ Pa s/m}$

• Dicke $t = 1,76 \text{ mm}$

Prüfanordnung:

• Anordnung in Anlehnung an Montagetyp G-100 nach DIN EN ISO 354

• gerafft hängend vor der Hallraumwand

• aufgehängt an 90 mm hoher Deckenschiene an der Hallraumdecke (60 mm Überlappung),
Abstand zur Rückwand 100 mm

• Aufbau ohne Umfassungrahmen

• zwei konfektionierte Fertigvorhänge 3760 mm x 2830 mm, 20 mm Überlappung am Stoß,
Oberkante mit Gurtbandverstärkung und Ösen alle 10 cm

• Prüffläche $B \times H = 3,75 \text{ m} \times 2,77 \text{ m}$ (ab Unterkante Deckenschiene)

Raum: E

Volumen: 199,60 m³

Prüffläche: 10,39 m²

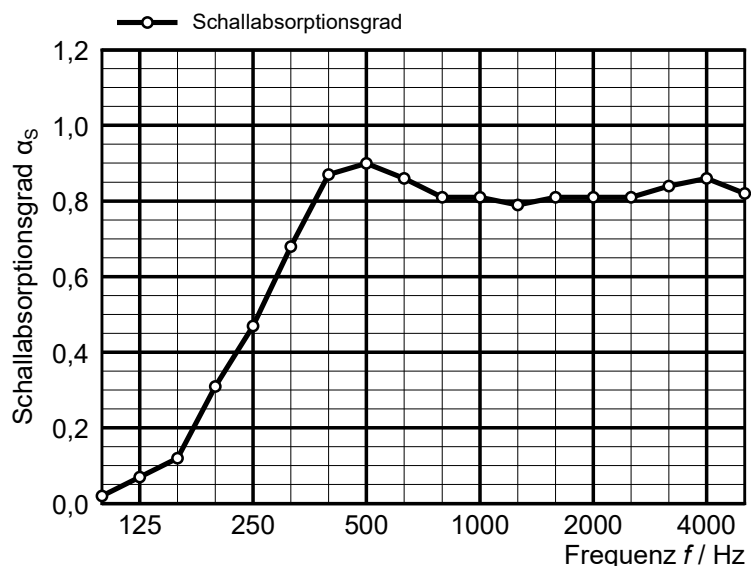
Prüfdatum: 02.11.2021

| | θ [°C] | $r. h.$ [%] | B [kPa] |
|------------|---------------|-------------|-----------|
| Ohne Probe | 21,0 | 39,7 | 93,8 |
| Mit Probe | 21,1 | 39,8 | 93,8 |

| Frequenz [Hz] | α_s Terz | α_p Oktave |
|------------------|--------------------|----------------------|
| 100 | 0,02 | |
| 125 | 0,07 | 0,05 |
| 160 | 0,12 | |
| 200 | 0,31 | |
| 250 | 0,47 | 0,50 |
| 315 | 0,68 | |
| 400 | 0,87 | |
| 500 | 0,90 | 0,90 |
| 630 | 0,86 | |
| 800 | 0,81 | |
| 1000 | 0,81 | 0,80 |
| 1250 | 0,79 | |
| 1600 | 0,81 | |
| 2000 | 0,81 | 0,80 |
| 2500 | 0,81 | |
| 3150 | 0,84 | |
| 4000 | 0,86 | 0,85 |
| 5000 | 0,82 | |

◦ Absorptionsfläche kleiner als 1,0 m²
 α_s Schallabsorptionsgrad nach ISO 354

α_p Praktischer Schallabsorptionsgrad nach ISO 11654



Bewertung nach ISO 11654:
Bewerteter Schallabsorptionsgrad
 $\alpha_w = 0,80$
Schallabsorberklasse: B

Bewertung nach ASTM C423:
Noise Reduction Coefficient $NRC = 0,75$
Sound Absorption Average $SAA = 0,74$

MÜLLER-BBM

Planegg, 05.11.2021
Prüfbericht Nr. M77 692/31

X. Heier

Anhang A
Seite 2

Vorhangstoff BÜHNENSAMT PUCCINI, Firma TÜCHLER



Abbildung B.1. Vorhang glatt hängend im Hallraum: Frontalansicht.



Abbildung B.2. Vorhang glatt hängend im Hallraum: Schrägansicht.

Vorhangstoff BÜHNENSAMT PUCCINI, Firma TÜCHLER



Abbildung B.3. Vorhang gerafft hängend im Hallraum, 100 % Stoffzugabe:
Frontalansicht.



Abbildung B.4. Vorhang gerafft hängend im Hallraum, 100 % Stoffzugabe:
Schrägansicht.

Angaben zum Prüfverfahren zur Ermittlung der Schallabsorption im Hallraum

1 Messgröße Schallabsorptionsgrad

Es wurde der Schallabsorptionsgrad α_s des Prüfobjekts bestimmt. Hierzu wurde die mittlere Nachhallzeit im Hallraum ohne und mit Prüfobjekt ermittelt. Die Berechnung des Schallabsorptionsgrads erfolgte nach folgender Gleichung:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S}$$

$$A_T = 55,3 V \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4 V (m_2 - m_1)$$

Dabei ist

- α_s Schallabsorptionsgrad;
- A_T Äquivalente Schallabsorptionsfläche des Prüfobjekts in m^2 ;
- S die vom Prüfobjekt überdeckte Fläche in m^2 ;
- V Hallraumvolumen in m^3 ;
- c_1 Schallgeschwindigkeit in Luft im Hallraum ohne Prüfobjekt in m/s ;
- c_2 Schallgeschwindigkeit in Luft im Hallraum mit Prüfobjekt in m/s ;
- T_1 Nachhallzeit im Hallraum ohne Prüfobjekt in s ;
- T_2 Nachhallzeit im Hallraum mit Prüfobjekt in s ;
- m_1 Luftabsorptionskoeffizient im Hallraum ohne Prüfobjekt in m^{-1} ;
- m_2 Luftabsorptionskoeffizient im Hallraum mit Prüfobjekt in m^{-1} .

Als Fläche des Prüfobjekts wurde die vom Prüfobjekt überdeckte Fläche verwendet.

Die unterschiedliche Dissipation der Schallausbreitung in Luft wurde gemäß Abschnitt 8.1.2 DIN EN ISO 354 [1] berücksichtigt. Die Berechnung der Luftabsorptionskoeffizienten erfolgte nach ISO 9613-1 [3]. Die klimatischen Bedingungen während der Prüfung sind in den Prüfzeugnissen aufgeführt.

Angaben zur Wiederholpräzision und zur Vergleichspräzision des Messverfahrens sind in DIN EN ISO 354 [1] und DIN EN ISO 12999-2 [4] enthalten. Für den Einzahlwert α_w wird in DIN EN ISO 12999-2 [4] eine Vergleichsstandardabweichung von $\sigma_R = 0,035$ angegeben. Dieser Wert entspricht der in Ringversuchen ermittelten Vergleichsstandardunsicherheit und beschreibt die Standardunsicherheit von im Prüfstand gewonnenen Prüfergebnissen für ein Bauteil unter Vergleichsbedingungen. Für ein anzustrebendes Vertrauensniveau von 95 % resultiert ein Erweiterungsfaktor von $k = 2,0$ und eine erweiterte Unsicherheit von $U = \pm 0,07$ für den ermittelten bewerteten Schallabsorptionsgrad α_w .

2 Prüfverfahren

2.1 Beschreibung des Hallraums

Der Hallraum entspricht den Anforderungen nach DIN EN ISO 354 [1].

Der Hallraum weist ein Volumen von $V = 199,6 \text{ m}^3$ und eine Raumbooberfläche von $S = 216 \text{ m}^2$ auf.

Es sind sechs ungerichtete Mikrofone sowie vier Dodekaeder fest im Hallraum installiert. Zur Erhöhung der Diffusität sind sechs Verbundbleche mit den Abmessungen $1,2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ und sechs Verbundbleche mit den Abmessungen $1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ gekrümmt und unregelmäßig im Raum aufgehängt.

In Abbildung C.1 sind Zeichnungen des Hallraums dargestellt.

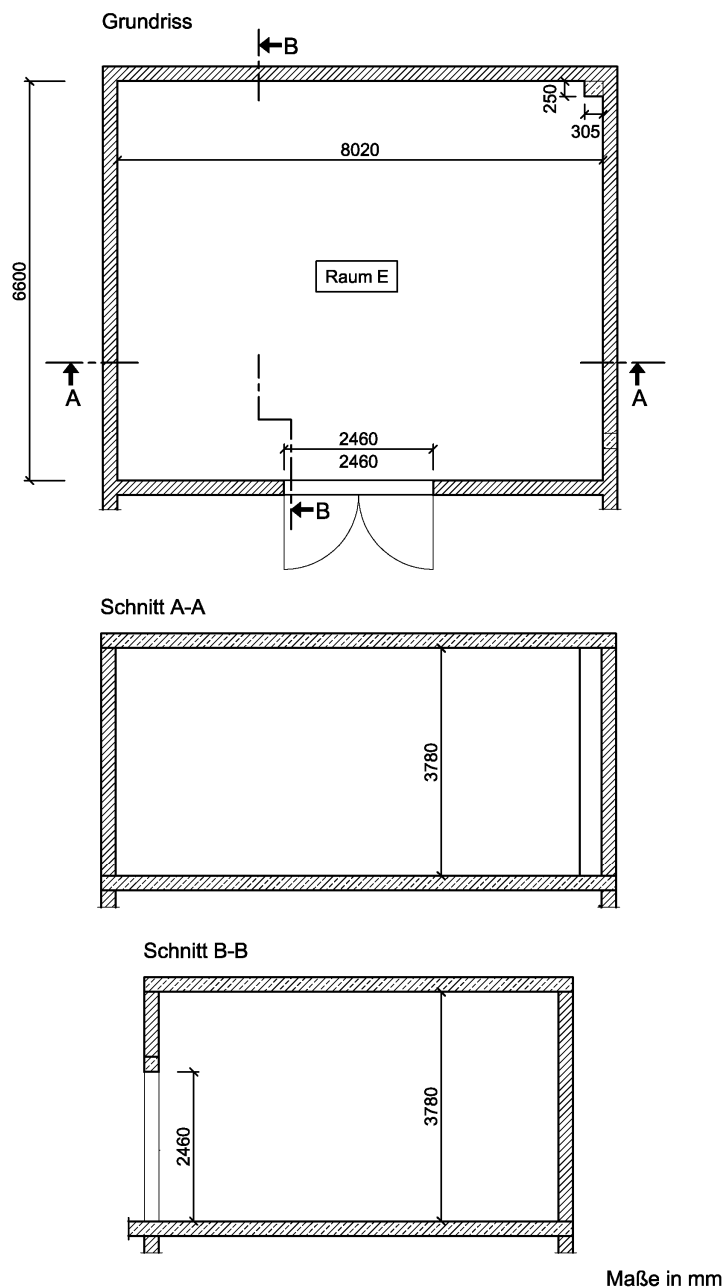


Abbildung C.1. Grundriss und Schnitte des Hallraums.

2.2 Messung der Nachhallzeit

Die Ermittlung der Impulsantworten erfolgte nach dem indirekten Verfahren. Als Prüfsignal wurde ein Gleitsinus mit einem Rosa Spektrum verwendet. Mit und ohne Prüfbjekte wurden jeweils 24 unabhängige Lautsprecher-Mikrofon-Kombinationen erfasst. Die Auswertung der Nachhallzeit erfolgte nach DIN EN ISO 354 [1], wobei eine lineare Regression zur Berechnung der Nachhallzeit T_{20} aus dem Pegel der rückwärtsintegrierten Impulsantwort verwendet wurde.

Die ermittelten Nachhallzeiten sind in Tabelle C.1 aufgeführt.

Tabelle C.1. Nachhallzeiten ohne und mit Prüfbjekten.

| Frequenz f / Hz | Nachhallzeit T / s | | |
|----------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|
| | T_1 (ohne Prüfbjekt) | T_2 (mit Prüfbjekt) | |
| | Anhang A Seiten 1 bis 2 | Anhang A Seite 1 | Anhang A Seite 2 |
| 100 | 5,37 | 5,31 | 5,15 |
| 125 | 6,39 | 5,86 | 5,61 |
| 160 | 6,19 | 5,63 | 4,98 |
| 200 | 5,77 | 4,62 | 3,66 |
| 250 | 5,78 | 4,33 | 3,06 |
| 315 | 5,76 | 3,30 | 2,54 |
| 400 | 5,84 | 2,99 | 2,21 |
| 500 | 5,72 | 2,88 | 2,15 |
| 630 | 5,42 | 2,75 | 2,16 |
| 800 | 5,07 | 2,66 | 2,18 |
| 1000 | 5,22 | 2,73 | 2,21 |
| 1250 | 5,29 | 2,81 | 2,25 |
| 1600 | 5,12 | 2,81 | 2,19 |
| 2000 | 4,75 | 2,65 | 2,12 |
| 2500 | 3,98 | 2,34 | 1,95 |
| 3150 | 3,19 | 2,05 | 1,71 |
| 4000 | 2,48 | 1,71 | 1,47 |
| 5000 | 1,94 | 1,44 | 1,29 |

2.3 Prüfmittel

In Tabelle C.2 sind die verwendeten Prüfmittel aufgeführt.

Tabelle C.2. Prüfmittel.

| Bezeichnung | Hersteller | Typ | Serien-Nr. |
|---|---------------------------------|--------------|--------------------------------|
| AD-/DA-Wandler | RME | Fireface 802 | 23811470 |
| Verstärker | APart | Champ 2 | 09050048 |
| Dodekaeder | Müller-BBM | DOD360A | 372828 |
| Dodekaeder | Müller-BBM | DOD360A | 372829 |
| Dodekaeder | Müller-BBM | DOD360A | 372830 |
| Dodekaeder | Müller-BBM | DOD360A | 372831 |
| Mikrofon | Microtech Gefell | M370 | 1355 |
| Mikrofon | Microtech Gefell | M370 | 1356 |
| Mikrofon | Microtech Gefell | M360 | 1786 |
| Mikrofon | Microtech Gefell | M360 | 1787 |
| Mikrofon | Microtech Gefell | M360 | 1788 |
| Mikrofon | Microtech Gefell | M360 | 1789 |
| Mikrofonspeisegerät | MFA | IV80F | 330364 |
| Hygro-/Thermometer | Testo | Saveris H1E | 01554624 |
| Barometer | Lufft | Opus 10 | 030.0910.0003.9. 4.1.30 |
| Mess- und Auswertesoftware | Müller-BBM | Bau 4 | Version 1.11 |
| Messgerät Strömungswiderstand | Müller-BBM | M89319-00 | 315003 |
| Mess- und Auswertesoftware Strömungswiderstand | Müller-BBM Acoustic Solution | m ars | Version 1.14.7256. 28813 |
| Dickenmessgerät | Hans Schmidt & Co GmbH | D-2000-C0913 | 2985 |
| Waage | Kern | KB1200-2N | W1402353 |