

# **PAK-Messablaufsteuerungen für Laborübungen der akustischen Messtechnik**

Bachelorarbeit im Rahmen des Elektro- und Raumakustik Seminar  
verfasst von

**Baumgartner Christoph  
Hemmer Dominik**

Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.techn. Werner Weselak  
Graz, Jänner 2016



## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Allgemeines</b> .....	<b>2</b>
2.1. Das Messsystem PAK Mobile MKII.....	2
2.1.1. Ein- und Ausschalten der Hardware.....	2
2.1.2. Die Software „PAK 5.8“.....	3
2.1.3. Kalibrieren der Messmikrofone.....	5
2.1.4. Messung starten.....	9
2.2. Messräume.....	10
2.2.1. Freifeldraum der TU-Graz.....	10
2.2.2. Hallraum der TU-Graz.....	12
2.3. Aufgabenstellungen.....	13
2.3.1. Messungen im reflexionsarmen Raum (Labortag 1).....	13
2.3.2. Messungen im Hallraum (Labortag 2 & 3).....	13
2.3.3. Impedanzrohr-Messungen (Labortag 4).....	14
<b>3. Messungen im reflexionsarmen Raum</b> .....	<b>15</b>
3.1. Messraumprüfung nach diversen Klassifizierungen.....	15
3.2. Schalleistungsmessung im reflexionsarmen Raum.....	15
3.2.1. Equipment.....	15
3.2.2. Messablauf.....	15
3.2.3. Messreihenfolge.....	16
3.2.4. Messung starten.....	16
3.2.5. Auswertung.....	16
<b>4. Messungen im Hallraum</b> .....	<b>19</b>
4.1. Messraumprüfung nach diversen Klassifizierungen.....	19
4.1.1. Equipment.....	19
4.1.2. Messablauf.....	19
4.1.3. Messung starten.....	20
4.1.4. Auswertung.....	20
4.2. Schalleistungsmessung im Hallraum.....	25
4.2.1. Equipment.....	25
4.2.2. Messablauf.....	25
4.2.3. Messreihenfolge.....	26
4.2.4. Messung starten.....	26
4.2.5. Auswertung.....	26
4.3. Absorptionsgradmessung im Hallraum.....	29
4.3.1. Equipment.....	29
4.3.2. Messablauf.....	29
4.3.3. Messung starten.....	31
4.3.4. Verarbeitung und Berechnung.....	31
4.3.5. Auswertung.....	32
<b>5. Impedanzrohr-Messungen</b> .....	<b>35</b>
5.1. Akustische Zweitormessung.....	35
5.1.1. Überblick.....	35
5.1.2. Equipment.....	35
5.1.3. Messaufbau.....	36
5.1.4. Anlegen eines Projekts, Einpegeln und Kalibrieren.....	38
5.1.5. Messung starten.....	42
5.1.6. Auswertung.....	44

5.1.7.	<i>Erstellen eines Reports</i> .....	45
5.2.	Akustische Dreitormessung.....	46
5.2.1.	<i>Überblick</i> .....	46
5.2.2.	<i>Equipment</i> .....	46
5.2.3.	<i>Messablauf</i> .....	46
5.2.4.	<i>Messung starten</i> .....	47
5.2.5.	<i>Auswertung</i> .....	47
<b>6.</b>	<b>Optionale Messungen</b> .....	<b>49</b>
6.1.	Raumeignungsprüfung nach ISO 3745.....	49
6.1.1.	<i>Equipment</i> .....	49
6.1.2.	<i>Messablauf</i> .....	49
6.1.3.	<i>Messreihenfolge</i> .....	50
6.1.4.	<i>Messung starten</i> .....	53
6.1.5.	<i>Auswertung</i> .....	53
6.2.	Hallraumprüfung nach ISO 3741 Anhang D.....	56
6.2.1	<i>Equipment</i> .....	56
6.2.2.	<i>Messablauf</i> .....	56
6.2.3.	<i>Messung starten</i> .....	57
6.2.4.	<i>Auswertung</i> .....	57

## 1. Einleitung

Im Rahmen des Elektro- und Raumakustik Seminar beschäftigt sich diese Bachelorarbeit mit der Ausarbeitung der Inhalte und eines Skriptums für die Lehrveranstaltung Akustische Messtechnik, LU. Dabei geht es um das Kennenlernen unterschiedlicher Messmethoden in der Praxis, insbesondere in verschiedenen Messumgebungen. Es werden qualitative Raumanalysen im Reflexionsarmen Raum sowie im Hallraum durchgeführt, Akustische Parameter wie Nachhallzeit, Absorptionsgrad oder Schalleistung nach Norm ermittelt und unterschiedliche Messsysteme eingesetzt.

Ziel dieser Arbeit ist es, als Leitfaden für die Durchführung Akustischer Messungen im Reflexionsarmen Raum, im Hallraum und an Akustischen Mehrtores zu dienen. Dabei beschäftigt sich ein großer Teil der Laborunterlagen mit dem Einsatz des Messsystems PAK Mobile MKII der Firma Müller BBM mit der zugehörigen Software PAK.

## 2. Allgemeines

### 2.1. Das Messsystem PAK Mobile MKII

Das Messsystem, welches für die meisten Messungen im Labor verwendet wird, ist das PAK Mobile MKII von Müller BBM mit der zugehörigen Software PAK Version 5.8. In diesem Kapitel werden einige Grundkonzepte der Hard- und Software vorgestellt.

#### 2.1.1. Ein- und Ausschalten der Hardware



Abb. 1 – Hardware des Messsystems

Über die beiden Druckknöpfe auf der Vorderseite des Systems wird das Gerät gestartet. Aktiviert wird das PAK Mobile MKII durch längeres Gedrückthalten des Startknopfes (siehe Abb. 1). Am Frontpanel sieht man außerdem die Steckplätze für max. 16 Mikrofone und die Ethernet Verbindung zum Laptop.



Durch mehrmaliges Drücken des Startknopfes erscheint am Display der Eintrag „START?“. Über den „OK“-Button wird das Gerät gestartet.



Nach vollendeter Messung wird das MKII auf dieselbe Weise ausgeschaltet. Nach mehrmaligem Drücken des Startknopfes, erscheint der Eintrag „OFF?“. Über den „OK“-Button wird der Ausschaltvorgang bestätigt.

### 2.1.2. Die Software „PAK 5.8“

Die Steuerung des Messvorgangs, sowie die Auswertung, Berechnung, und Anzeige erfolgt durch die zum Messsystem gehörende Software „PAK 5.8“. In folgender Abbildung ist das Hauptfenster nach Start der Software ersichtlich.



Abb. 2 – Hauptfenster der Messsoftware „PAK“

Wichtig für unsere Messungen sind die ersten drei Symbole in der Symbolleiste. Diese sind zuständig für die Datenbetrachtung, den Aufruf der Messdefinition und den Aufruf der Grafikdefinition (siehe Abb. 3). Über die Schaltfläche „Projekt“ kann bereits eine Vorauswahl der Einstellungen getroffen werden.

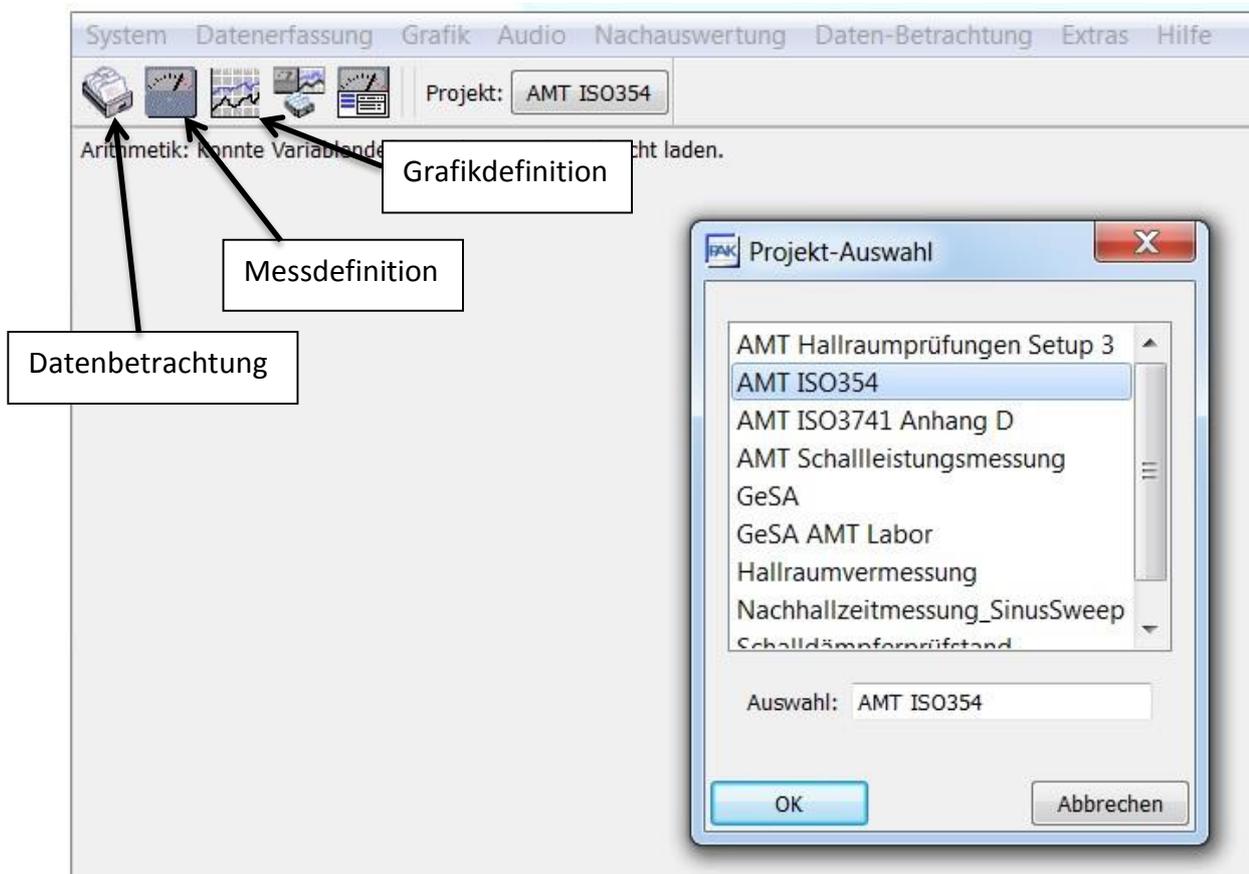


Abb. 3 – Symbolleiste und Projektauswahl

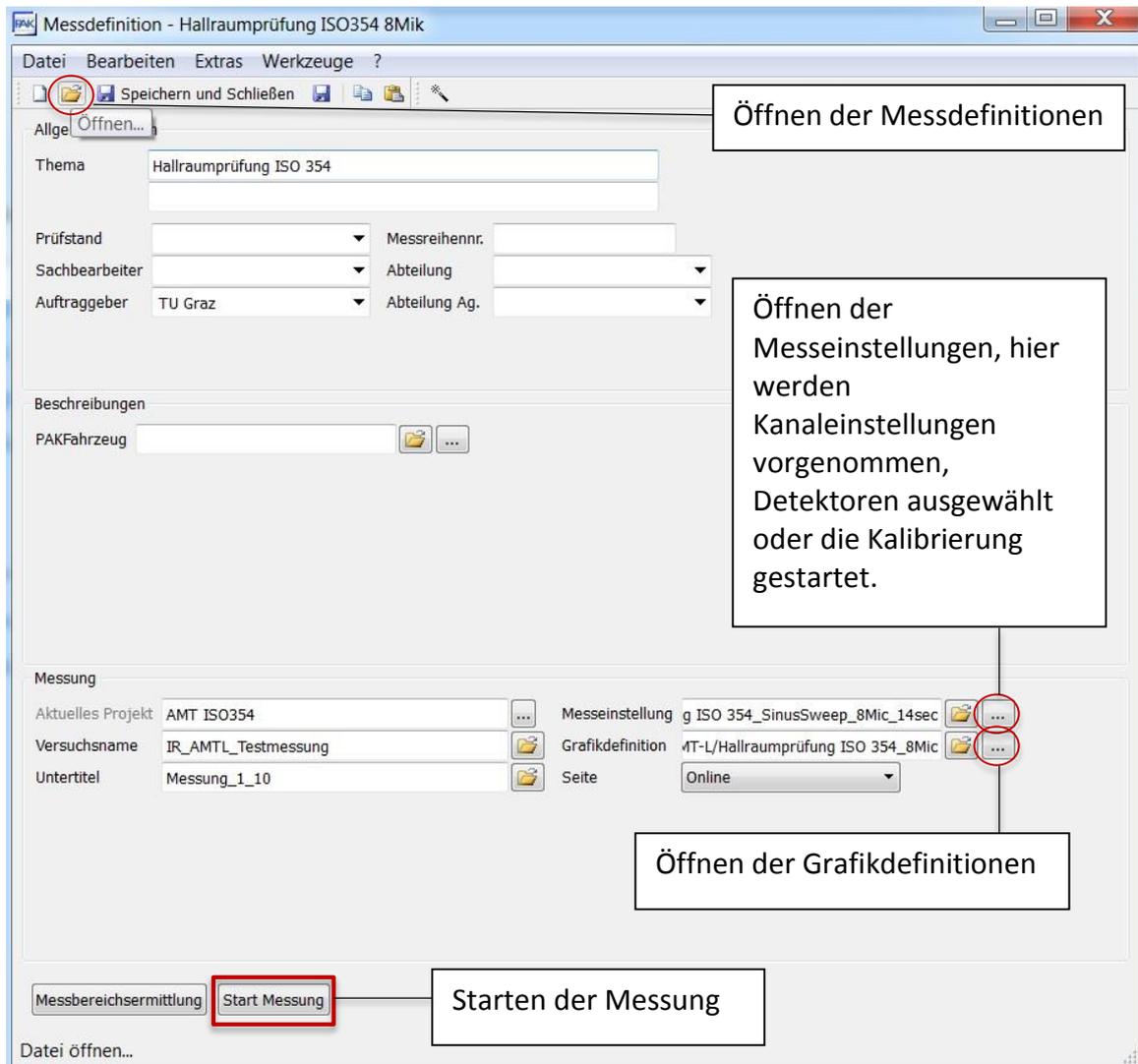


Abb. 4 – Messdefinition zur Eingabe allg. Daten und Messeinstellungen

Nach Klick auf das Messdefinition-Symbol öffnet sich das Messdefinitionsfenster (siehe Abb. 4). Darin können Einstellungen zur Messsteuerung und Archivierung der Messung eingegeben werden. Zuerst muss die gewünschte Messdefinition über den „Öffnen“ Dialog gewählt werden.

Weiters können nun ein eigener Versuchsname und Untertitel für die Messreihe eingegeben werden. Wird an letzter Stelle des Untertitels eine Zahl eingegeben, so wird diese nach Beendigung einer Messung automatisch erhöht. Nachträglich kann auch hier noch die Projektauswahl geändert werden. Nachdem die gewünschte Messdefinition geladen wurde, kann die eigentliche Messung durch Drücken des Buttons „Start Messung“ beginnen.

### 2.1.3. Kalibrieren der Messmikrofone

Um die Mikrofone kalibrieren zu können, müssen die Messeinstellungen geöffnet werden (siehe Abb. 5).

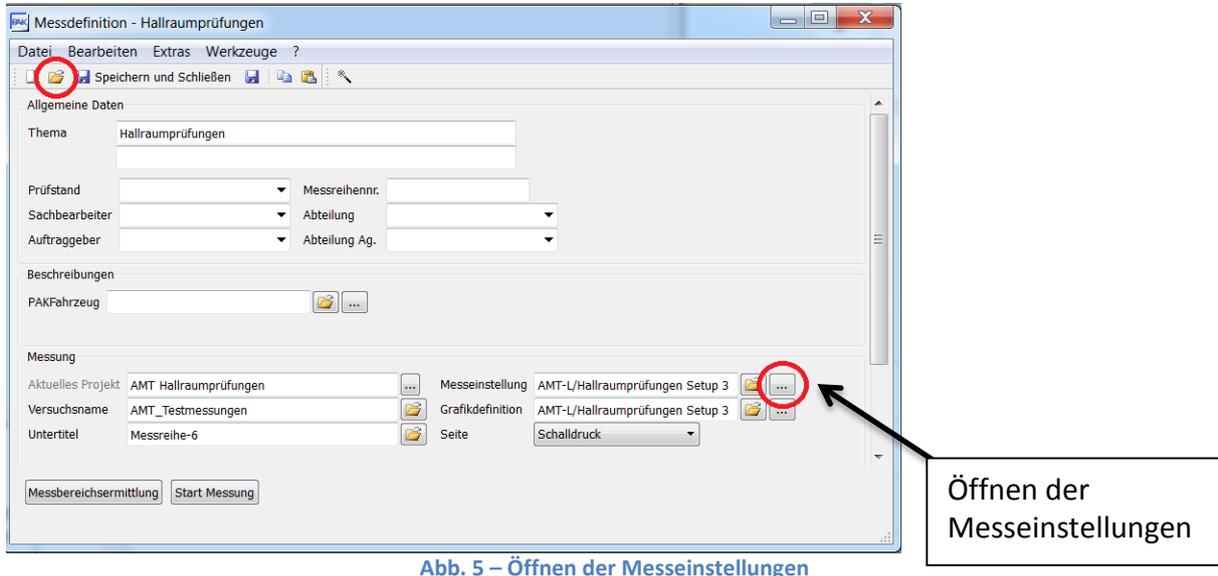


Abb. 5 – Öffnen der Messeinstellungen

Im Messeinstellungsfenster erscheint durch Klick auf „Kalibrierung...“ ein neues Fenster (siehe Abb. 6). Darin sieht man die vorhandenen Kanäle, die kalibriert werden können.

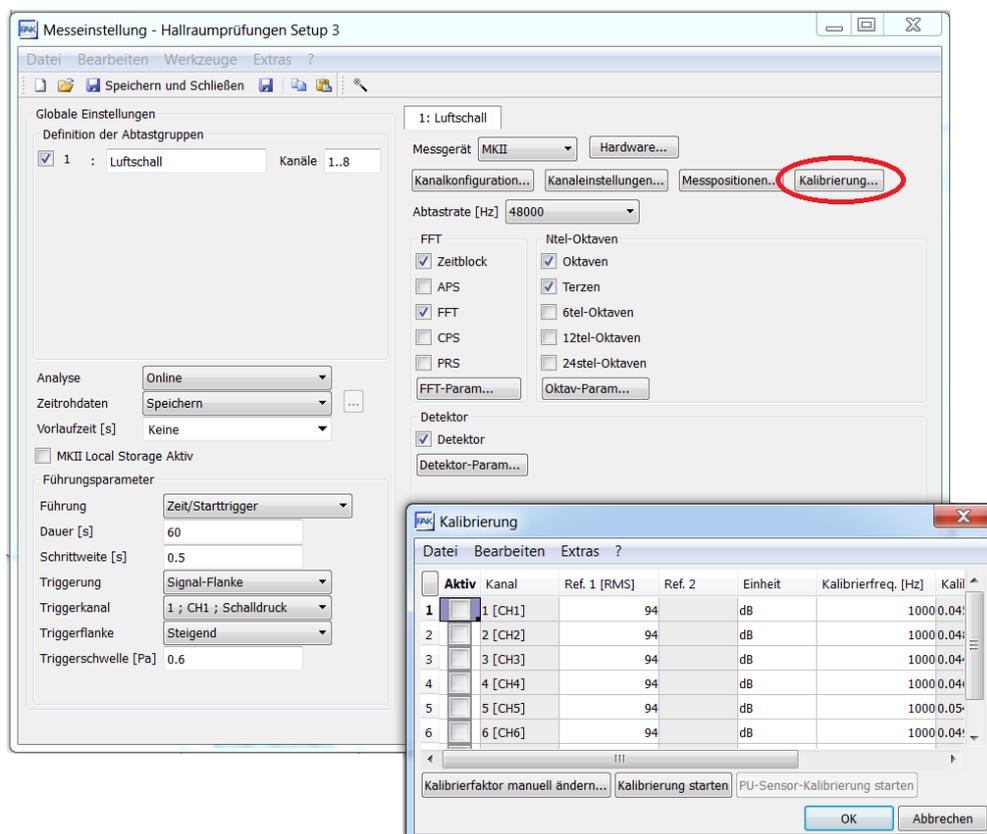


Abb. 6 – Öffnen des Kalibrierfensters

Danach müssen folgende Schritte beachtet werden:

1. Überprüfen der Kalibriereinstellungen:
  - Ref. 1 [RMS] = 94
  - Einheit = dB
  - Kalibrierfreq. [Hz] = 1000
2. Kalibrieren:
  - Nachdem alle Kanäle aktiv sind, kann die Kalibrierung mit dem Kalibriergerät von Brüel & Kjaer gestartet werden (siehe Abb. 7).

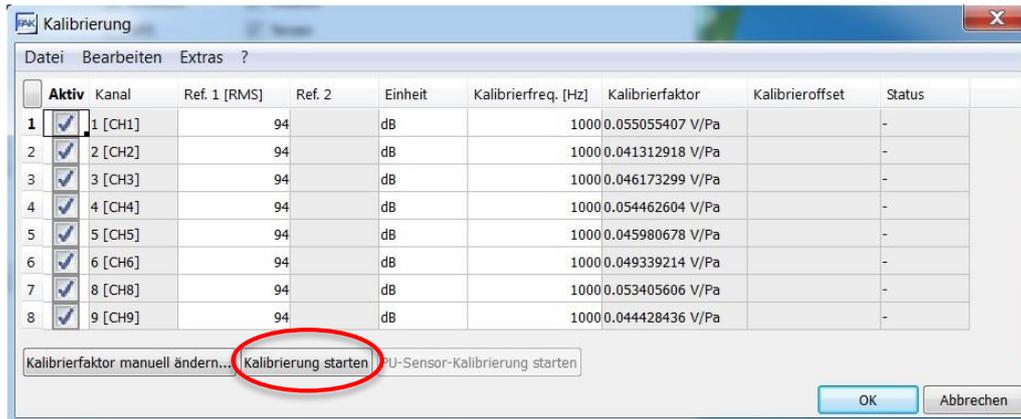


Abb. 7 – Kalibrierung starten

Nach dem Klick auf „Kalibrierung starten“ erscheinen vier neue Fenster (siehe Abb. 8):

- Grafikausgabe
- Aussteuerungsanzeige
- Messleiste
- Farbanzeige zum Status der Kalibrierung

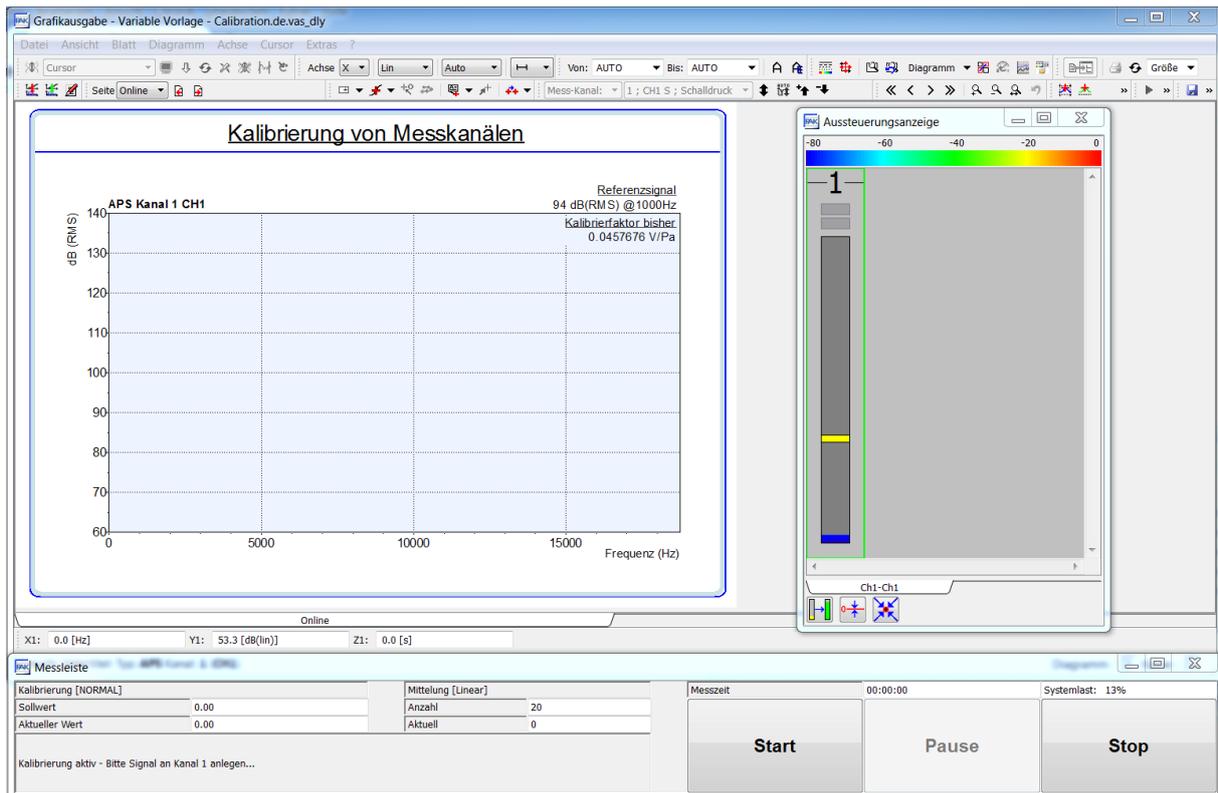


Abb. 8 – Kalibrierfenster mit Grafikausgabe, Messleiste und Aussteuerungsanzeige

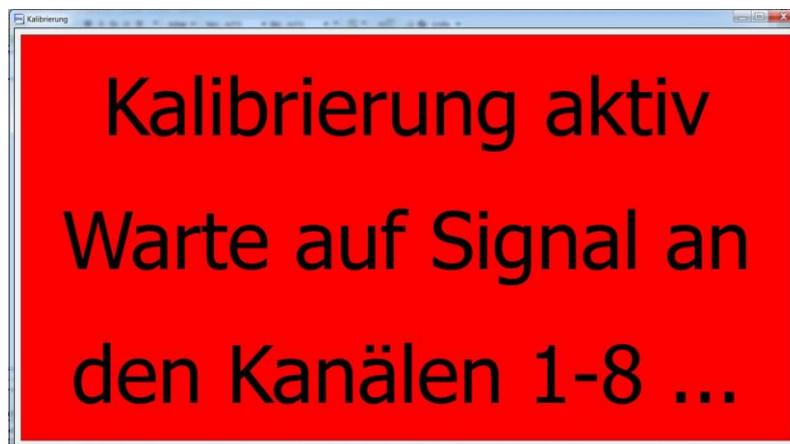


Abb. 9 – Farbanzeige zum Status der Kalibrierung

Nun wird der Kalibrator (Brüel & Kjaer) auf je ein Mikrofon gesetzt. Durch Drücken des Startknopfes werden die 94dB bei 1000Hz an das Mikrofon angelegt. Zur Kontrolle leuchtet die rote LED neben dem Startknopf (siehe Abb. 10). Zusätzlich zeigt die PAK Software welcher Kanal gerade kalibriert wird (siehe Abb. 9).



Abb. 10 – Kalibrierung des Messmikrofones

Nach der Kalibrierung aller Mikrofone erscheint das Ergebnisfenster (siehe Abb. 11). Durch die Bestätigung mit „OK“ in diesem Fenster, wird der Kalibriervorgang beendet und die Grafikausgabe kann geschlossen werden.

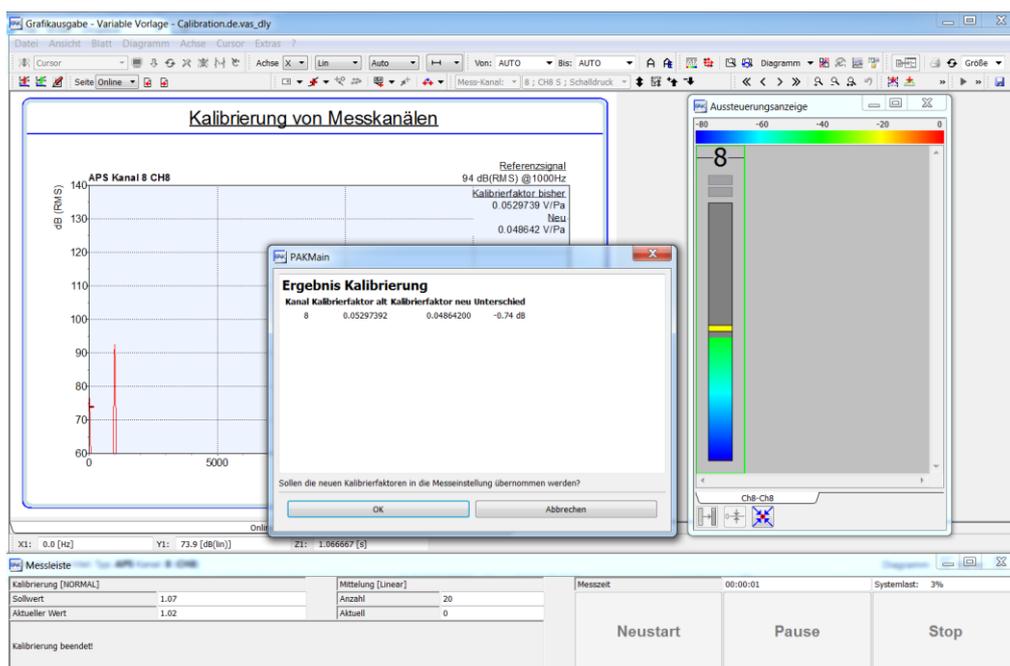


Abb. 11 – Ergebnisfenster nach Kalibrierung

Zum Schluss wird noch das Kalibrierfenster durch Klicken auf „OK“ geschlossen und die Messeinstellungen über „Speichern und Schließen“ beendet (siehe Abb. 12).

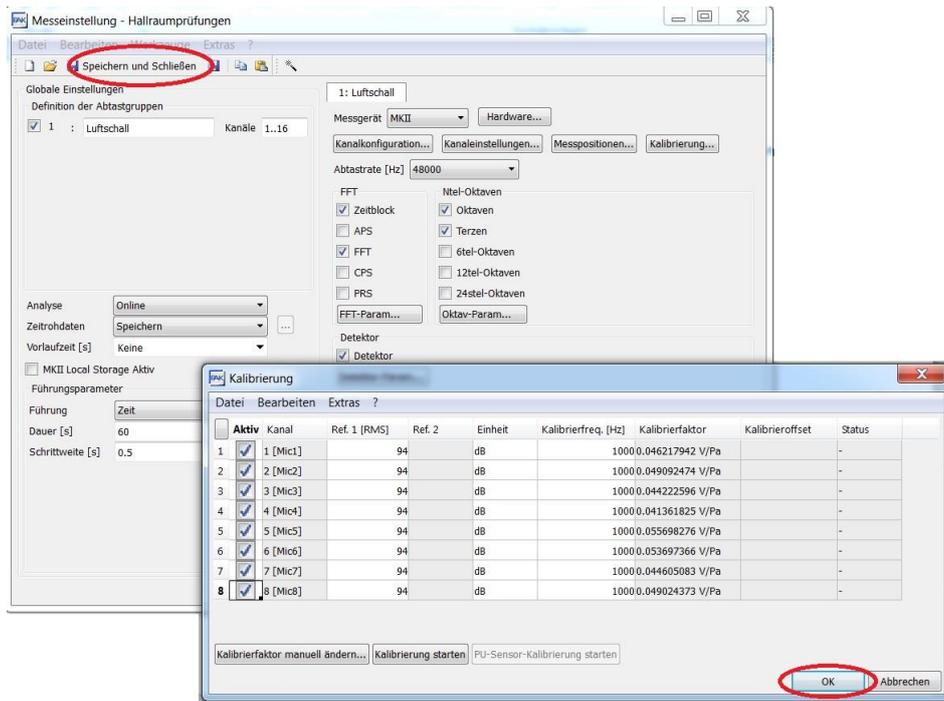


Abb. 12 – Beenden der Kalibrierung und Speichern der Messeinstellungen

### 2.1.4. Messung starten

Nach Klick auf „Start Messung“ öffnen sich drei neue Fenster (siehe Abb. 13), wovon das unterste einen „Start“-Button besitzt. Sobald dieser gedrückt wird, startet die Messung. Anhand der Diagramme kann online mitverfolgt werden, welcher Schalldruckverlauf gerade gemessen wird.

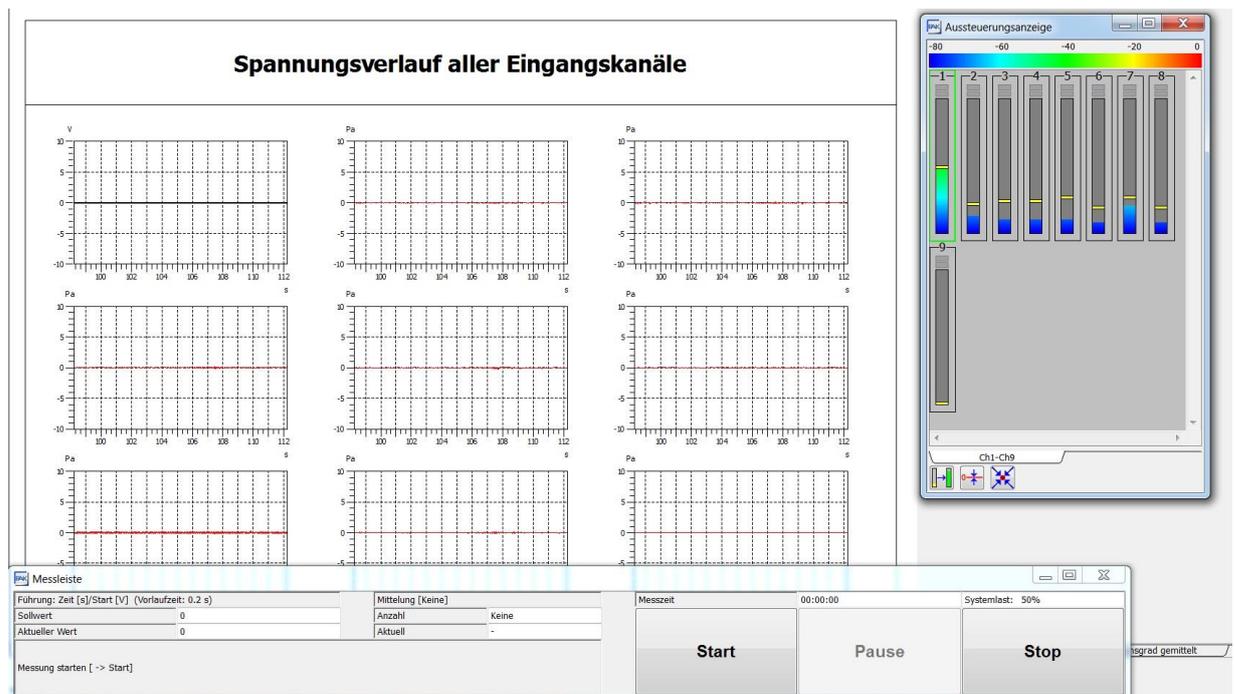


Abb. 13 – Grafikausgabe mit Messfenster, Messleiste und Aussteuerungsanzeige

## 2.2. Messräume

### 2.2.1. Freifeldraum der TU-Graz



Abb. 14 - Institut für Elektronische Musik und Akustik, Freifeld-Akustikmessraum, Petersgasse 116

	Freifeldraum TU-Graz
Maße	Länge: 5,12 – 5,65m Breite: 4,06 – 4,96m Raumhöhe: 2,85 – 3,29m  Volumen = 73m <sup>3</sup>

Abb. 15 - Daten des Freifeldraumes



### 2.2.2. Hallraum der TU-Graz



Abb. 18 - Institut für Hoch- und Industriebau, Labor für Bauphysik, Inffeldgasse 24

Hallraum TU-Graz	
Maße	Länge: 8,34m Breite: 5,99m Raumhöhe: 4,90m  Volumen = 244m <sup>3</sup>

Abb. 19 - Daten des Hallraums der TU-Graz

## 2.3. Aufgabenstellungen

### 2.3.1. Messungen im reflexionsarmen Raum (Labortag 1)

1. Genaue Vorbereitung der Kap. 1,5 und 6 aus AMT Vorlesung v10.1
2. Geometrische Bestimmung der Raumeignung über das Volumen und Berechnung der Grenzfrequenzen, um einzelne tieffrequente Raummoden zu vermeiden
3. Kalibrieren der Mikrofone (Kap. 2.1.3)
4. Durchführen der Experimentellen Eignungsprüfung nach diversen Klassifizierungen und Interpretieren der Ergebnisse (Kap. 4.1)
5. Messung der Schalleistung mit Hüllflächenverfahren EN ISO 3744 (Kap. 3.2)
  - geometrische Überlegung der Mikrofonanordnung
  - Besprechung der und Vergleich der Raumeignung nach verschiedenen Genauigkeitsklassen
  - Schallquelle: Handy, Föhn o.Ä.

### 2.3.2. Messungen im Hallraum (Labortag 2 & 3)

1. Genaue Vorbereitung der Kap. 1,5 und 6 aus AMT Vorlesung v10.1
2. Geometrische Bestimmung der Raumeignung über das Volumen und Berechnung der Grenzfrequenzen, um einzelne tieffrequente Raummoden zu vermeiden
3. Kalibrieren der Mikrofone (siehe Kap. 2.1.3)
4. Durchführen der Experimentellen Eignungsprüfung nach diversen Klassifizierungen und Interpretieren der Ergebnisse (Kap. 4.1)
5. Messung der Schalleistung im Hallraum und Vergleich der Ergebnisse für unterschiedliche Genauigkeitsklassen (Kap. 4.2)
6. Absorptionsgradmessung im Hallraum (Kap. 4.3)
  - Berechnen der Nachhallzeit
  - Vergleich von unterschiedlichen Absorbertypen und Auswertung des Absorptionsgrades in Terzbändern.

### 2.3.3. Impedanzrohr-Messungen (Labortag 4)

1. Genaue Vorbereitung der Kap. 1 und 4 aus AMT Vorlesung v10.1
  
2. Messungen am Zweitor mit der 4-Mikrofonmethode (Kap. 5.1)
  - Einpegeln und Kalibrieren des Messsystems mit 100mm Melaminharzschaum
  - Messung von unterschiedlichen Schaumstoffen jeweils mit kurzem und weitem Mikrofonabstand
  - Vergleichen und Interpretieren der akustischen Parameter Reflexionsgrad, Absorptionsgrad, Wandimpedanz...
  
3. Messungen am Dreitor (Kap. 5.2)
  - Kalibrieren der Mikrofone (Kap. 2.1.3)
  - Bestimmung der Schlauchkennwerte verschiedener Gewebeschlauchproben

### 3. Messungen im reflexionsarmen Raum

#### 3.1. Messraumprüfung nach diversen Klassifizierungen

Siehe Kap. 4.1

#### 3.2. Schalleistungsmessung im reflexionsarmen Raum

In diesem Setup befinden sich Messablaufsteuerungen nach folgenden Normen:

- ISO 3744 (Quaderhüllfläche, Genauigkeitsklasse 2)
- ISO 3746 (Quaderhüllfläche, Genauigkeitsklasse 3)

##### 3.2.1. Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung (Laptop)
- 9 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 9 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- 9 BNC – Kabel (PAK Mobile – Mikrofon)
- **B&K 4204 Referenzschallquelle**
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Gehörschutz

##### 3.2.2. Messablauf

Die Mikrofone werden mit ansteigender Seriennummer an den Kanälen **1 – 9** am PAK Mobile MKII angeschlossen. Die Referenzschallquelle wird am Boden mittig im Raum positioniert.

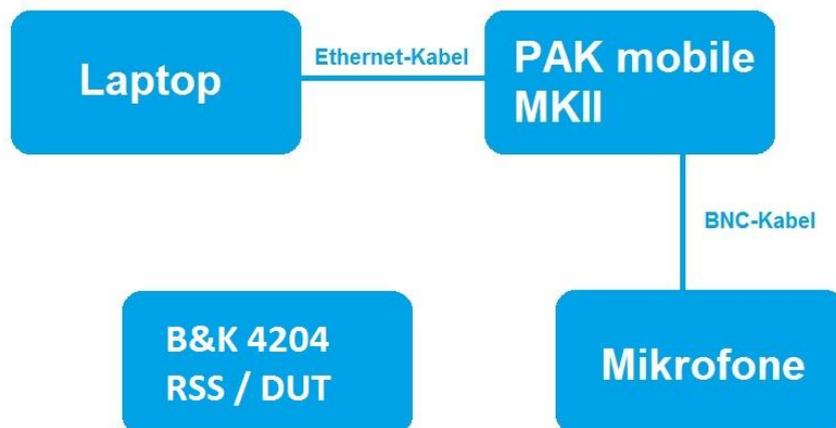


Abb. 20 – Messaufbau mit Referenzschallquelle

Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. Wir verwenden das Projekt „AMT RaR Schalleistung“ und die Messdefinition „Schalleistungsmessung RaR“. Zum Öffnen der Messdefinition siehe Kapitel 2.1.

### 3.2.3. Messreihenfolge

Die Messreihenfolge bei diesem Setup muss für eine korrekte Auswertung der Ergebnisse unbedingt eingehalten werden! Es sind insgesamt drei Messungen notwendig:

- a) Messung des Fremdgeräuschpegels
- b) Messung mit der Referenzschallquelle (RSS)
- c) Messung mit einer Geräuschquelle (DUT)

### 3.2.4. Messung starten

Siehe Kap. 2.1.4

### 3.2.5. Auswertung

#### Eingabe freier Formelparameter:

Gewisse Konstanten müssen von Hand eingegeben werden. Dazu wird die jeweilige Datendefinition in der Grafikdefinition geöffnet (siehe Abb. 21).

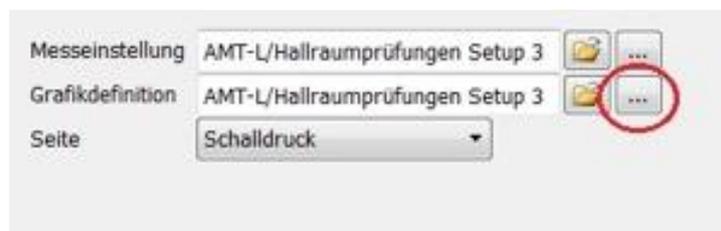


Abb. 21 – Öffnen der Grafikdefinition

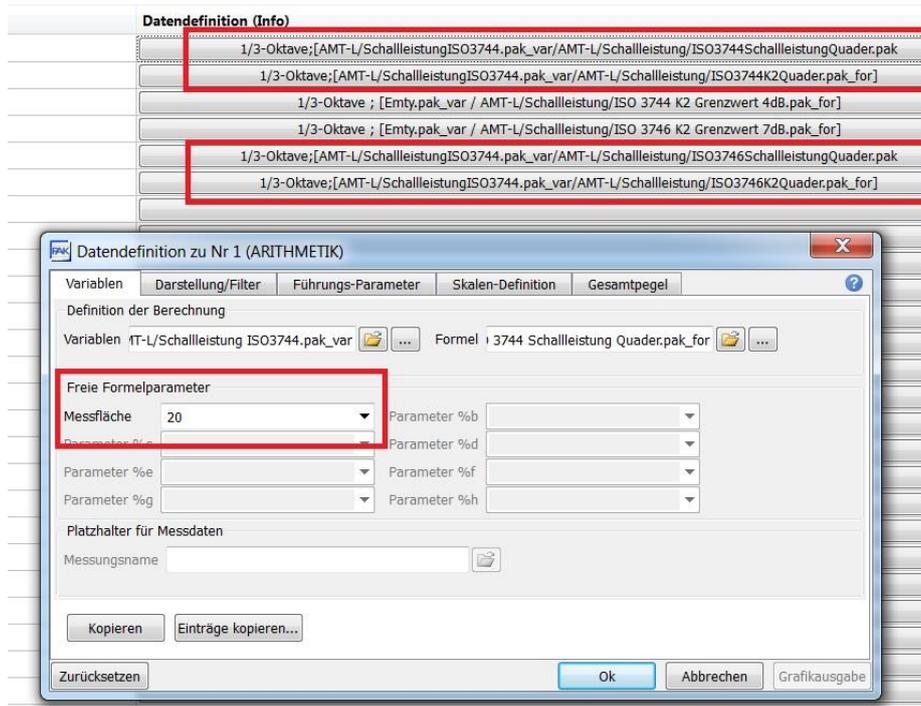


Abb. 22 – Eingabe freier Formelparameter (Schalleistung RaR)

Für folgenden Kartireiter und die zugehörigen Datendefinitionen müssen freie Formelparameter eingegeben werden (siehe Abb. 22):

- **Schalleistung → Datendefinition**

ISO3744SchalleistungQuader  
ISO3744K2Quader

ISO3746SchalleistungQuader  
ISO3746K2Quader

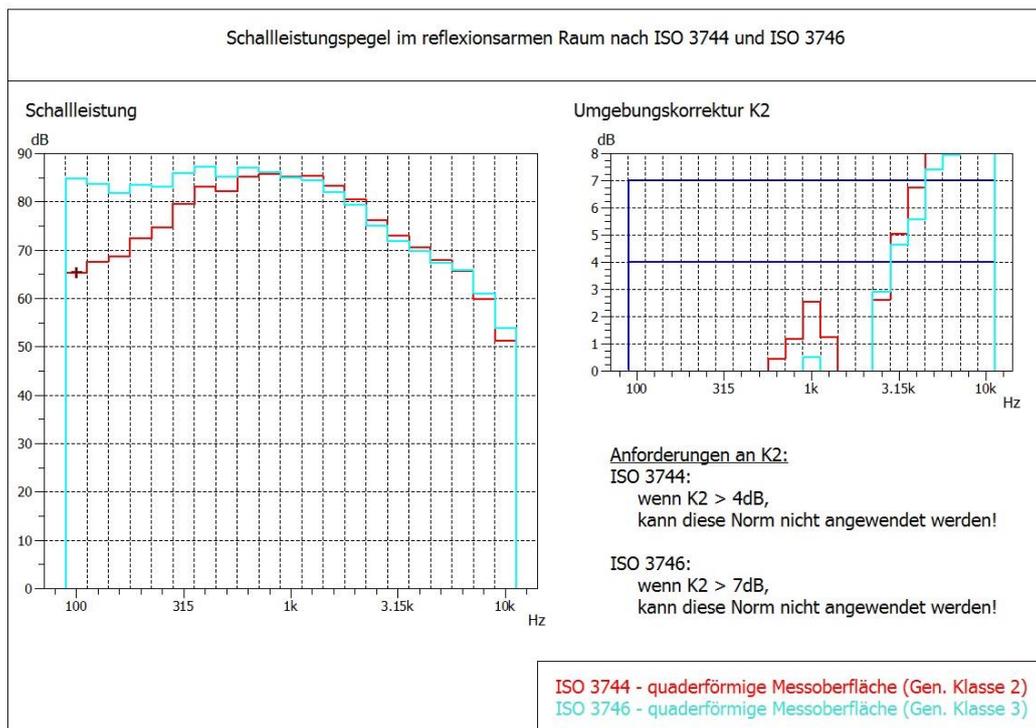


Abb. 23 – Grafikausgabe der berechneten Schalleistung

<b>Karteireiter</b>	<b>Beschreibung</b>
Schalldruck	Aktueller Schalldruck während der Messung
Schalldruckpegel	Aktueller Schalldruckpegel in Terzauflösung während der Messung oder Anzeige der letzten Messung
Terzschalleistungspegel	Berechnung der Schalleistungspegel in Terzauflösung nach Norm ISO 3744 und ISO 3746 mit den Grenzwerten für die Eignung des Prüfraumes. Hier müssen freie Formelparameter eingegeben werden.



Abb. 24 – Übersicht über die Karteireiter

## 4. Messungen im Hallraum

### 4.1. Messraumprüfung nach diversen Klassifizierungen

In diesem Setup befinden sich Messablaufsteuerungen nach folgenden Normen:

- ISO 3741 Anhang C
- ISO 3741 Kapitel 8.4.2
- ISO 3743-1
- ISO 3743-2
- ISO 3747

#### 4.1.1. Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung
- 8 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 8 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- 8 BNC – Kabel (PAK Mobile MKII – Mikrofon)
- **B&K 4204 Referenzschallquelle**
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Gehörschutz

#### 4.1.2. Messablauf

Die Mikrofone werden mit ansteigender Seriennummer an den Kanälen **1 – 8** am PAK Mobile MKII angeschlossen. Bei der Aufstellung der 8 Mikrofone ist zu beachten, dass laut Normen gewisse Mindestabstände eingehalten werden müssen.

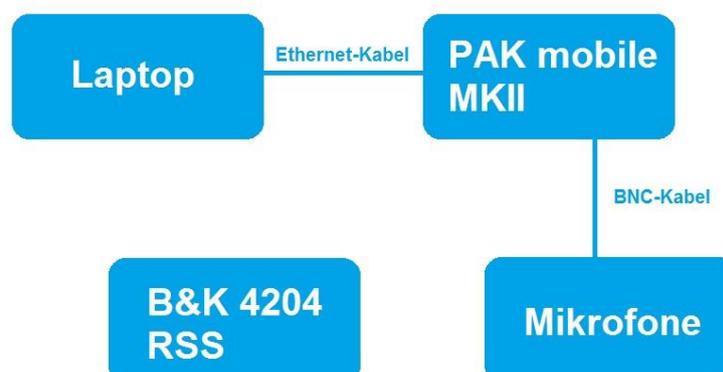


Abb. 25 – Messaufbau mit Referenzschallquelle

Die Messungen werden mit **6 Quellenpositionen** durchgeführt. Als Anregungssignal dient Rauschen, das für einen Zeitraum von 60 Sekunden pro Messung aktiv sein muss. Das Signal kommt von der Referenzschallquelle.

Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. Wir verwenden das Projekt „AMT Hallraumprüfungen“ und die Messdefinition „Hallraumprüfungen“. Zum Öffnen der Messdefinition siehe Kapitel 2.1.

#### 4.1.3. Messung starten

Siehe Kap. 2.1.4

#### 4.1.4. Auswertung

Nachdem für jede Quellenposition eine Messung durchgeführt wurde, können über die einzelnen Karteireiter die Ergebnisse nach verschiedenen Normen klassifiziert werden.

##### **Eingabe freier Formelparameter:**

Gewisse Konstanten müssen von Hand eingegeben werden. Dazu wird die Grafikdefinition geöffnet (siehe Abb. 26):

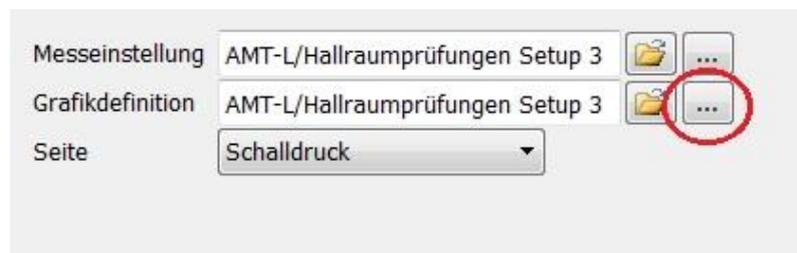


Abb. 26 – Öffnen der Grafikdefinition aus der Messdefinition

Für folgende Karteireiter und die zugehörigen Datendefinitionen müssen freie Formelparameter eingegeben werden (siehe Abb. 27 - Abb. 29):

- ISO 3743 – 2
- ISO 3747 Summenpegel
- ISO 3747 Terzen

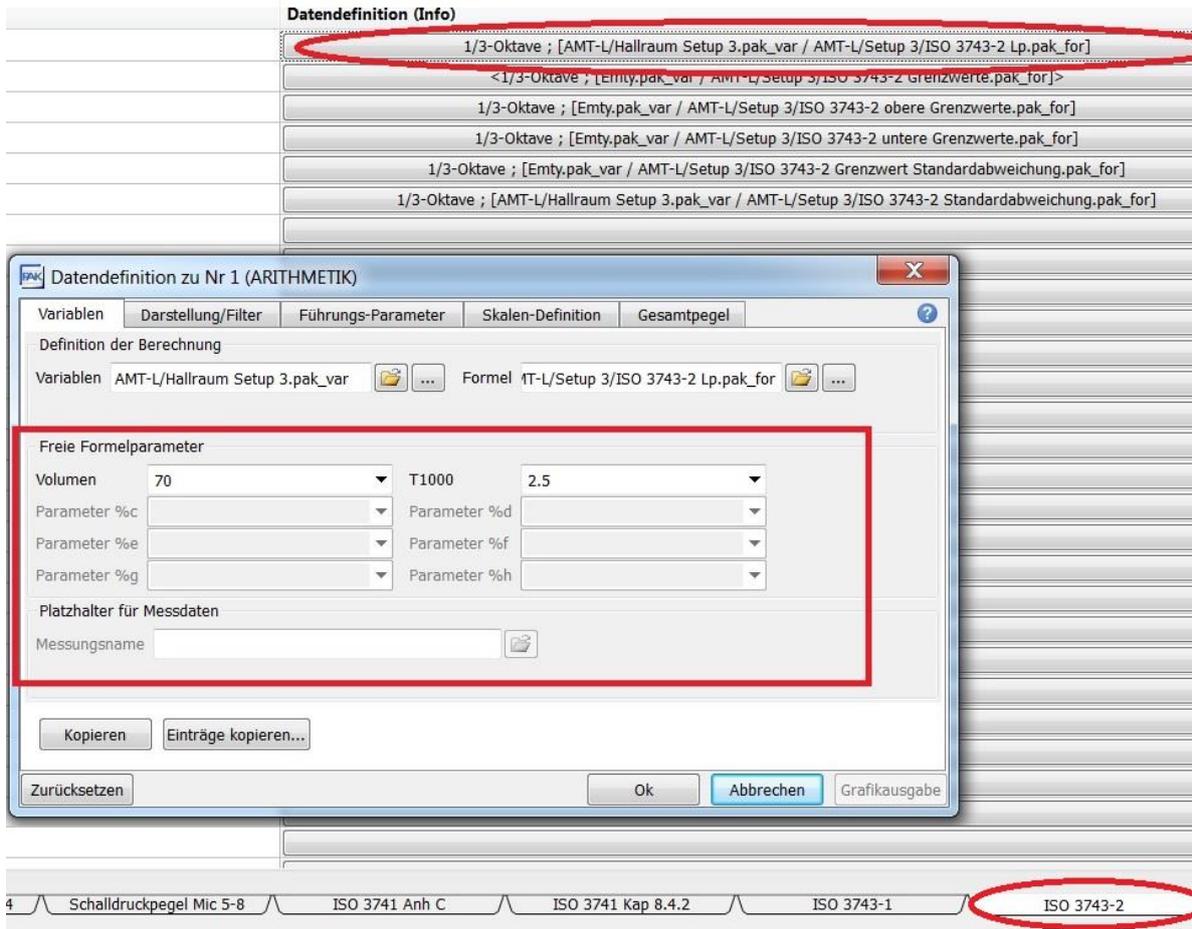


Abb. 27 – Eingabe freier Formelparameter in der ersten Datendefinition im Karteireiter „ISO 3743-2“

Bei ISO 3743-2 müssen nur in der ersten Datendefinition „ISO 3743-2 Lp“ Formelparameter eingegeben werden (siehe Abb. 27):

- Volumen ... Raumvolumen in  $m^3$
- T1000 ... Nachhallzeit bei 1000Hz in Sekunden

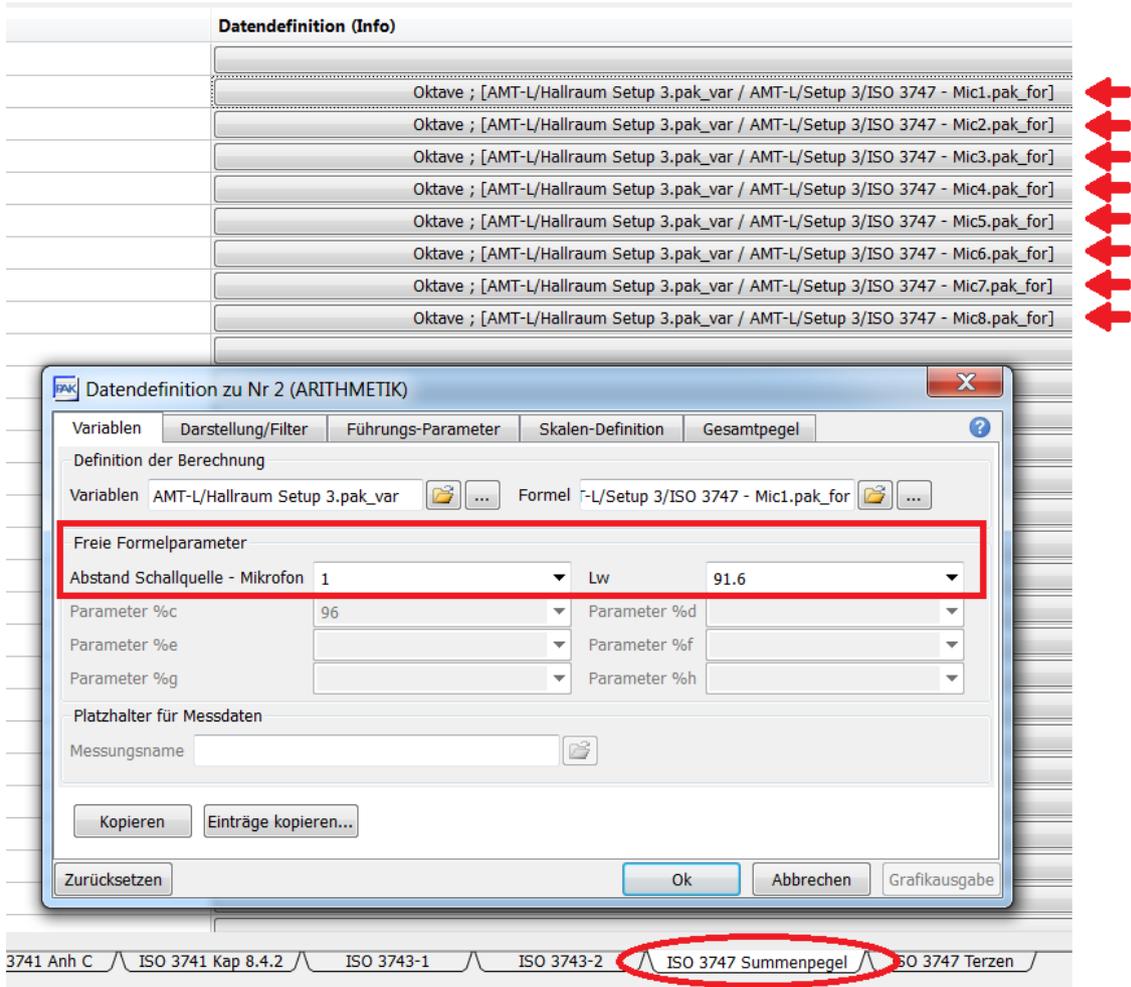


Abb. 28 – Eingabe freier Formelparameter im Karteireiter „ISO 3747 Summenpegel“

Bei ISO 3747 Summenpegel müssen die Parameter in **jeder Datendefinition**, also für jedes Mikrofon (Mic1 – Mic8) eingegeben werden (siehe Abb. 28):

- Abstand des jeweiligen Mikrofons zur Schallquelle in m
- Lw ... A-bewerteter Summenpegel der Referenzschallquelle in dB

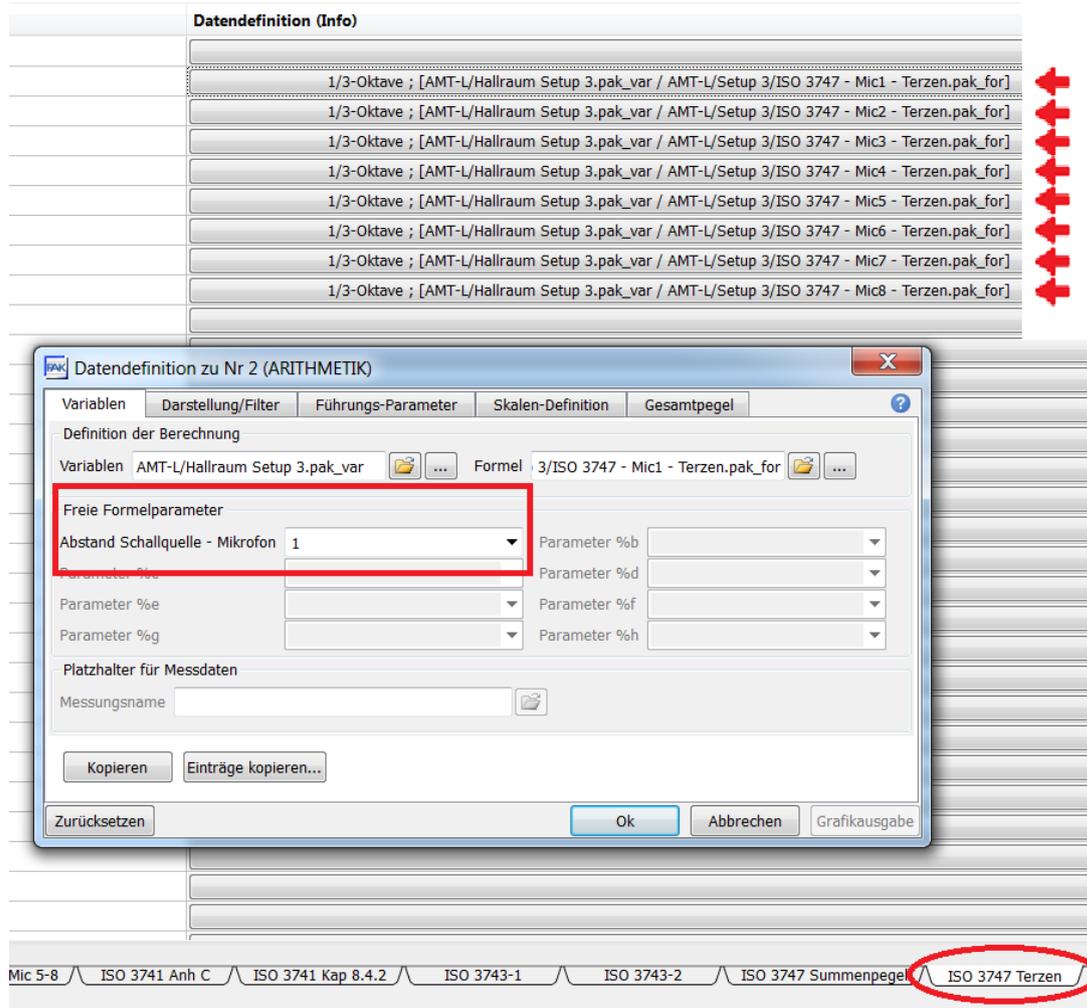


Abb. 29 – Eingabe freier Formelparameter im Karteireiter „ISO 3747 Terzen“

Auch bei ISO 3747 Terzen müssen die Parameter in **jeder Datendefinition**, also für jedes Mikrophon (Mic1 – Mic8) eingegeben werden (siehe Abb. 29):

- Abstand des jeweiligen Mikrofons zur Schallquelle in m

<b>Karteireiter</b>	<b>Beschreibung</b>
Schalldruck	Aktueller Schalldruck während der Messung
Schalldruckpegel Mic 1 – 8 (aktuell)	Aktueller Schalldruckpegel in Terzauflösung und Summenpegel während der Messung oder Anzeige bereits gemessener Daten
Schalldruckpegel Mic 1 – 8 (archiv)	
ISO 3741 Anh C	Standardabweichung zwischen den Quellenpositionen 1 – 6 mit eingetragenen Grenzwerten
ISO 3741 Kap 8.4.2	Standardabweichung zwischen den Mikrofonpositionen 1 – 8 mit eingetragenen Grenzwerten für die Anzahl der zu verwendenden Mikrofone
ISO 3743-1	Differenz zwischen max. und min. Schalldruckpegel der Quellenpositionen. Diese soll Grenzwerte einhalten.
ISO 3743-2	Schallleistungspegel der Vergleichsschallquelle. Der Schallleistungspegel muss im eingetragenen Toleranzband sein, um die Norm zu erfüllen. Hier müssen freie Formelparameter eingegeben werden.
ISO 3747 Summenpegel	Schalldruckpegelüberhöhung der Vergleichsschallquelle bei unterschiedlichen Mikrofonabständen zur Schallquelle (Summenpegel). Hier müssen freie Formelparameter eingegeben werden.
ISO 3747 Terzen	Schalldruckpegelüberhöhung der Vergleichsschallquelle bei unterschiedlichen Mikrofonabständen zur Schallquelle (Terzauflösung). Hier müssen freie Formelparameter eingegeben werden.

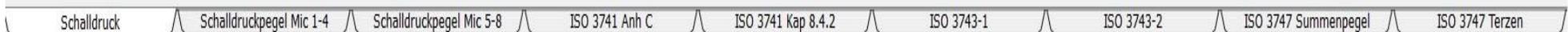


Abb. 30 – Überblick über die Karteireiter

## 4.2. Schalleistungsmessung im Hallraum

In diesem Setup befinden sich Messablaufsteuerungen nach folgenden Normen:

- ISO 3741
- ISO 3743-1
- ISO 3743-2
- ISO 3747

### 4.2.1. Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung
- 8 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 8 BNC – Kabel (PAK Mobile MKII – Mikrofon)
- 8 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- **B&K 4204 Referenzschallquelle**
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Gehörschutz

### 4.2.2. Messablauf

Die Mikrofone werden mit ansteigender Seriennummer an den Kanälen **1 – 8** am PAK Mobile MKII angeschlossen. Bei der Aufstellung der 8 Mikrofone ist zu beachten, dass laut Normen gewisse Mindestabstände eingehalten werden müssen.



Abb. 31 – Messaufbau mit Referenzschallquelle

Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. Wir verwenden das Projekt „AMT Schalleistungsmessung“ und die Messdefinition „Schalleistungsmessung Hallraum“. Zum Öffnen der Messdefinition siehe Kapitel 2.1.

### 4.2.3. Messreihenfolge

Die Messreihenfolge bei diesem Setup muss für eine korrekte Auswertung der Ergebnisse unbedingt eingehalten werden! Es sind insgesamt drei Messungen notwendig:

- a) Messung des Fremdgeräuschpegels
- b) Messung mit Referenzschallquelle (RSS)
- c) Messung mit Geräuschquelle (DUT)

### 4.2.4. Messung starten

Siehe Kap. 2.1.4

### 4.2.5. Auswertung

#### **Eingabe freier Formelparameter:**

Gewisse Konstanten müssen von Hand eingegeben werden. Dazu wird die jeweilige Datendefinition in der Grafikdefinition geöffnet.

Für den Karteireiter „Schalleistung“ müssen folgende freie Formelparameter eingegeben werden:

- Datendefinition **ISO 3743-2** (siehe Abb. 32)
  - Volumen ... Raumvolumen in  $\text{m}^3$
  - T1000 ... Nachhallzeit bei 1000Hz in Sekunden
  
- Datendefinition **ISO 3741** (siehe Abb. 33)
  - Äquivalente Absorptionsfläche in  $\text{m}^2$
  - Raumbofläche in  $\text{m}^2$
  - Raumvolumen in  $\text{m}^3$
  - Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$
  - Atmosphärischer Druck in Pa

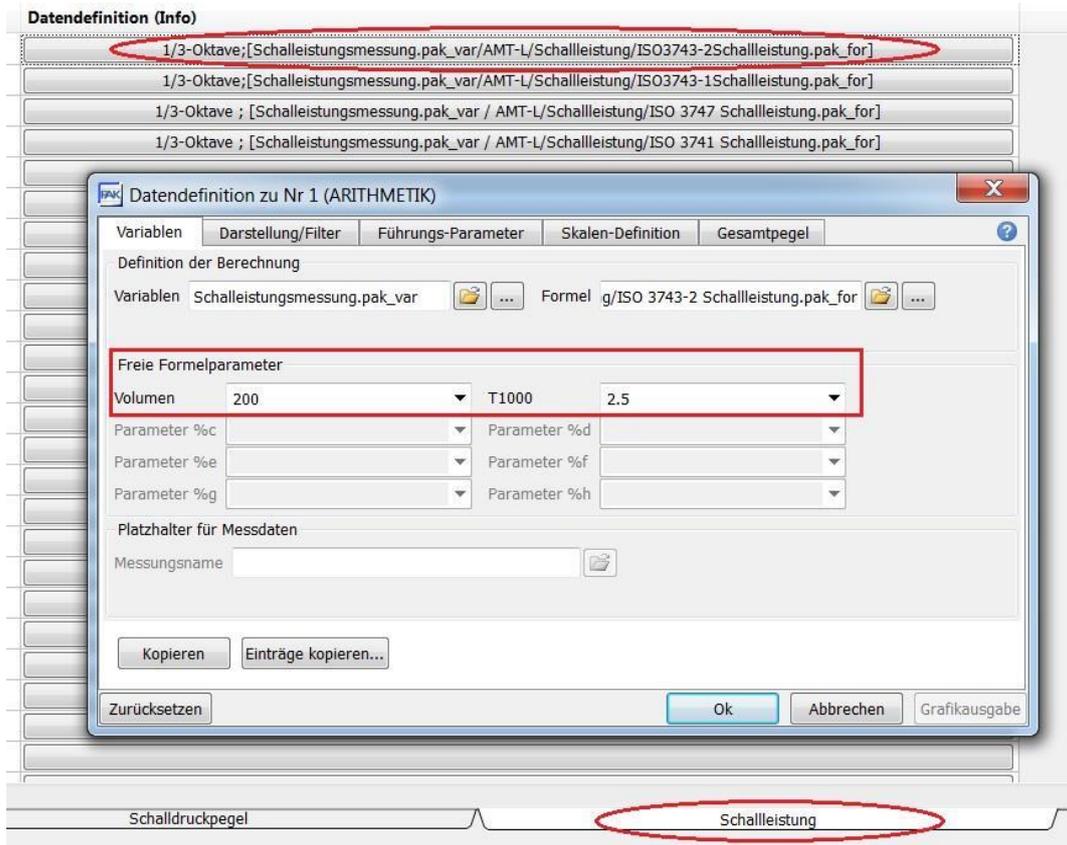


Abb. 32 – Eingabe freier Formelparameter in der Datendefinition (hier: ISO 3743-2)

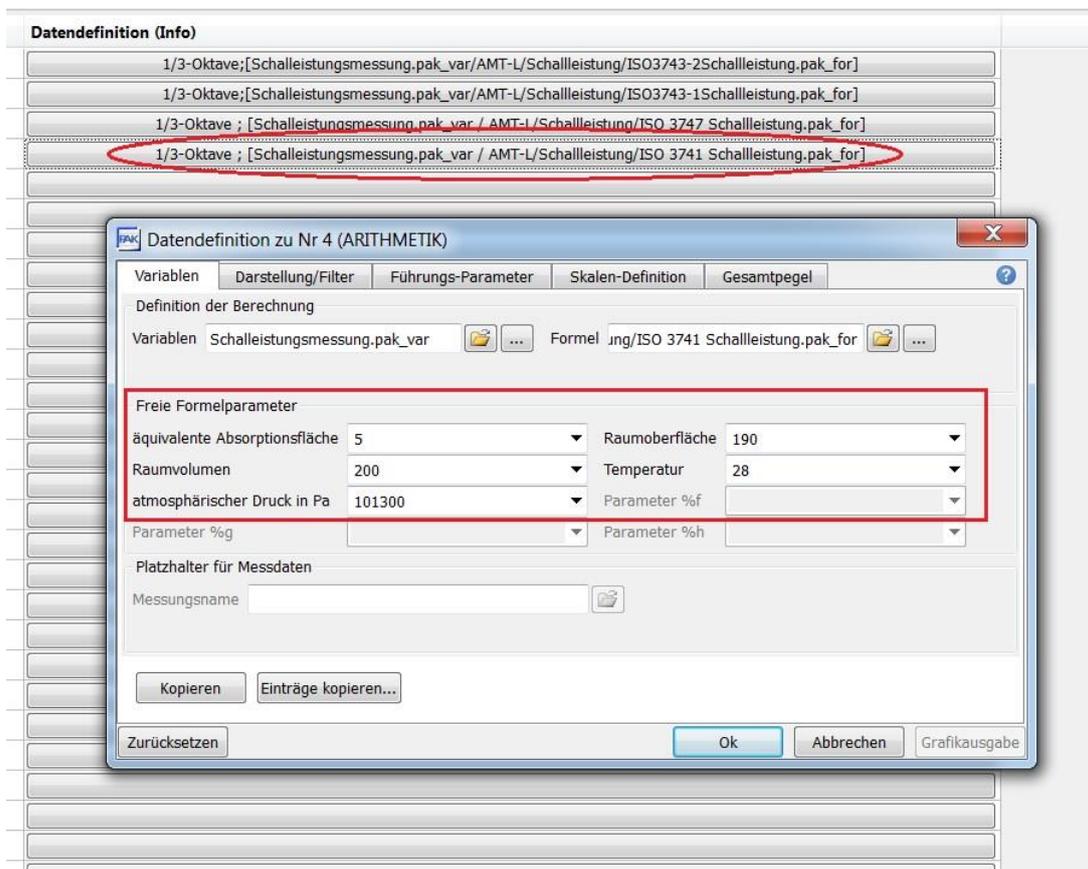


Abb. 33 – Eingabe freier Formelparameter in der Datendefinition (hier: ISO 3741)

<b>Karteireiter</b>	<b>Beschreibung</b>
Schalldruck	Aktueller Schalldruck während der Messung
Schalldruckpegel	Aktueller Schalldruckpegel in Terzauflösung während der Messung oder Anzeige der letzten Messung
Schallleistung	Berechnung der verschiedenen Schallleistungspegel nach Norm ISO 3741, 3743-1, 3743-2 und 3747 in Terzauflösung Hier müssen freie Formelparameter eingegeben werden.

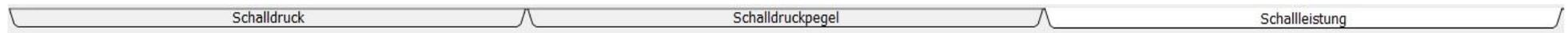


Abb. 34 – Überblick über die Karteireiter

### 4.3. Absorptionsgradmessung im Hallraum

#### 4.3.1. Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung
- **Audiointerface (RME Fireface 400)**
- **Firewire Kabel für Audiointerface**
- **BNC-Klinke Kabel als Verbindung Fireface – PAK Mobile MKII**
- **Audiokabel Klinke – XLR male als Verbindung Fireface 400 zum Verstärker**
- 6 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 6 BNC – Kabel (PAK Mobile MKII – Mikrofon)
- 6 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- **Dodekaederlautsprecher Norsonic Nor276 + Verstärker und Kabel**
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Gehörschutz

#### 4.3.2. Messablauf

Die Mikrofone werden mit ansteigender Seriennummer an den Kanälen **1 – 8** am PAK Mobile MKII angeschlossen. Auf den 12. Kanal wird das Direktsignal aus der Soundkarte rückgekoppelt. Bei der Aufstellung der 8 Mikrofone ist zu beachten, dass laut Norm bestimmte Mindestabstände zu berücksichtigen sind.

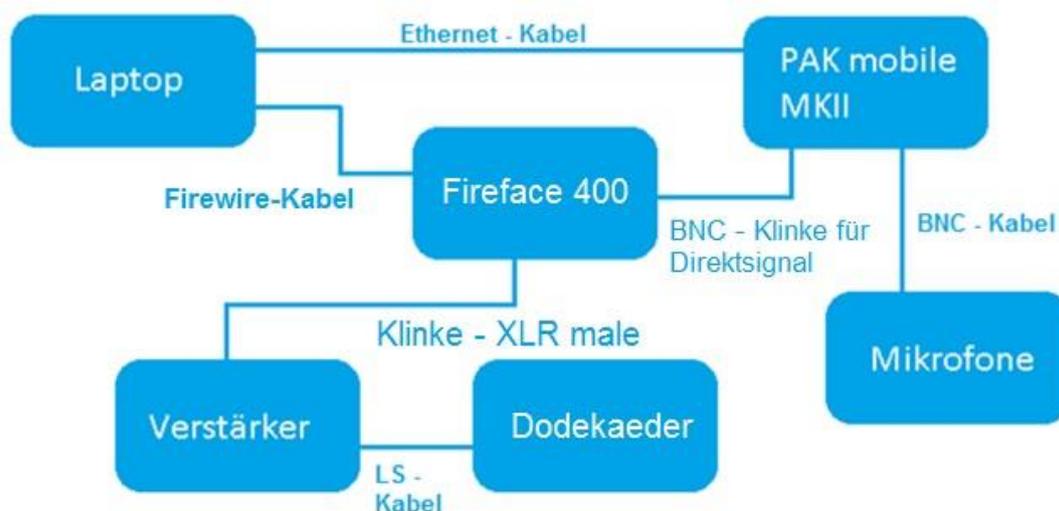


Abb. 35 – Messaufbau mit Dodekaeder

Die Messung wird mit 2 Quellenpositionen durchgeführt, bei denen die Schallquelle mindestens um 3m verrückt werden muss.

**! Kontrolle: An Kanal 12 muss der Output der Soundkarte anliegen (Direktsignal)!**

Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. Wir verwenden das Projekt „Absorptionsgradmessung Hallraum“.

Die Ergebnisse müssen nach jedem Messdurchlauf händisch in den zur Messreihe gehörenden Ordner gespeichert werden. Dafür muss im Messdefinitionsfenster (siehe Abb. 36) auf Grafikdefinition geklickt werden.

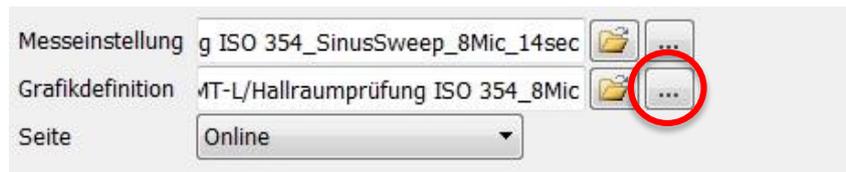


Abb. 36 – Öffnen der Grafikdefinition

Im Karteireiter „SAVE“ wird nun unter Arithmetik/Datendefinition ein Formel-Preset für den Messreihenexport gewählt (siehe Abb. 37). Bei der Absorptionsgradmessung werden zwei Messreihen mit je zwei Quellpositionen verwendet. Zuerst wird der leere Hallraum vermessen, anschließend die Absorber eingebracht. Dafür sind unterschiedliche Formel-Presets vorhanden:

- Export\_mitProbe\_Q1
- Export\_mitProbe\_Q2
- Export\_ohneProbe\_Q1
- Export\_ohneProbe\_Q2

Q1 ... Quellposition 1

Q2 ... Quellposition 2

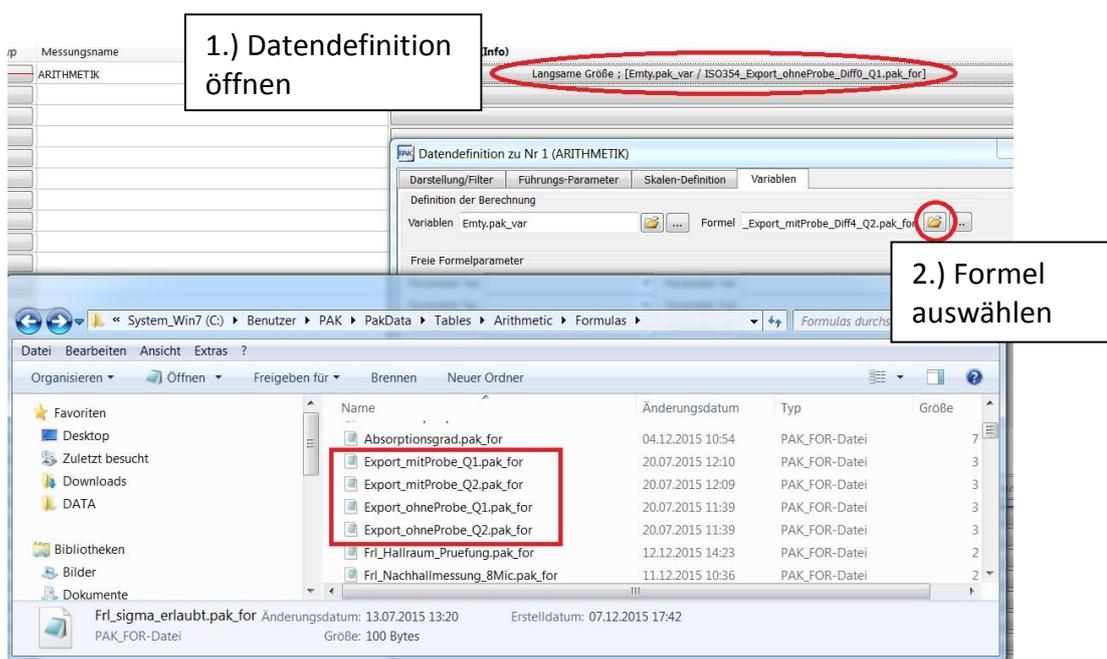


Abb. 37 – Auswahl von vorgefertigten Formel-Presets für den Datenexport

Nachdem das Formel-Preset geladen wurde, wird mit Klick auf „Ok“ gespeichert. Danach wird die Grafikdefinition mit „Speichern und Schließen“ verlassen und die Messreihe kann gestartet werden (z.B. zweite Quellenposition, Einbringen des Absorbers...).

**! Wichtig:** *Nach jeder Messung muss wieder erneut eine Berechnung von RT20 erfolgen und daher vorher ein neuer Speicherort für die Ergebnisse ausgewählt werden!*

### 4.3.3. Messung starten

Nach Klick auf „Start Messung“ öffnen sich drei neue Fenster (siehe Abb. 13) wovon das unterste einen „Start“-Button besitzt. Sobald dieser gedrückt wird, wartet die Software auf den benötigten Trigger und die Aufzeichnung startet von selbst. Als Trigger wird die Spannung des 12. Eingangskanals verwendet. So beginnt die Messung erst dann, wenn der Sinus-Sweep abgespielt wird. Anhand der Diagramme kann online mitverfolgt werden, welcher Verlauf von Spannung bzw. Schalldruck gerade gemessen wird. Das Anregungssignal, ein linearer Sinus-Sweep mit einer Länge von 14 sek., liegt am Desktop als .wav File und kann mit einem beliebigen Audio Player abgespielt werden.

### 4.3.4. Verarbeitung und Berechnung

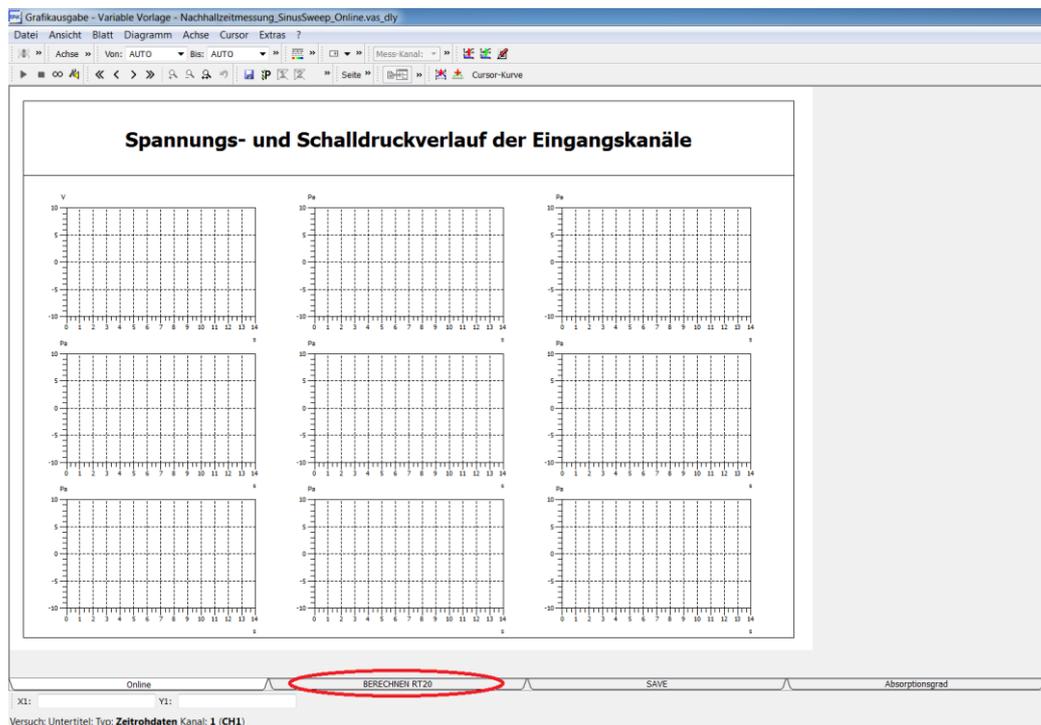


Abb. 38 – Grafikausgabe mit Karteireiter „BERECHNEN RT20“ zur Ermittlung der Nachhallzeit

Um die Nachhallzeiten zu berechnen, wird in der Grafikausgabe im Messfenster auf den Karteireiter „BERECHNEN RT20“ geklickt (siehe Abb. 38). Die Berechnung kann bis zu 3 min. in Anspruch nehmen.

### 4.3.5. Auswertung

#### Eingabe freier Formelparameter:

Gewisse Konstanten müssen von Hand eingegeben werden. Dazu wird die jeweilige Datendefinition in der Grafikdefinition geöffnet. Es müssen nur im Karteireiter „Absorptionsgrad“ folgende Formelparameter eingegeben werden (siehe Abb. 39):

- Raumvolumen in  $\text{m}^3$
- Dämpfungskoeffizient  $m_1$  (nach ISO 9613-1 ohne Probe)
- Dämpfungskoeffizient  $m_2$  (nach ISO 9613-1 mit Probe)
- Raumtemperatur  $t_1$  in  $^{\circ}\text{C}$  (ohne Probe)
- Raumtemperatur  $t_2$  in  $^{\circ}\text{C}$  (mit Probe)
- Fläche der Probe in  $\text{m}^2$

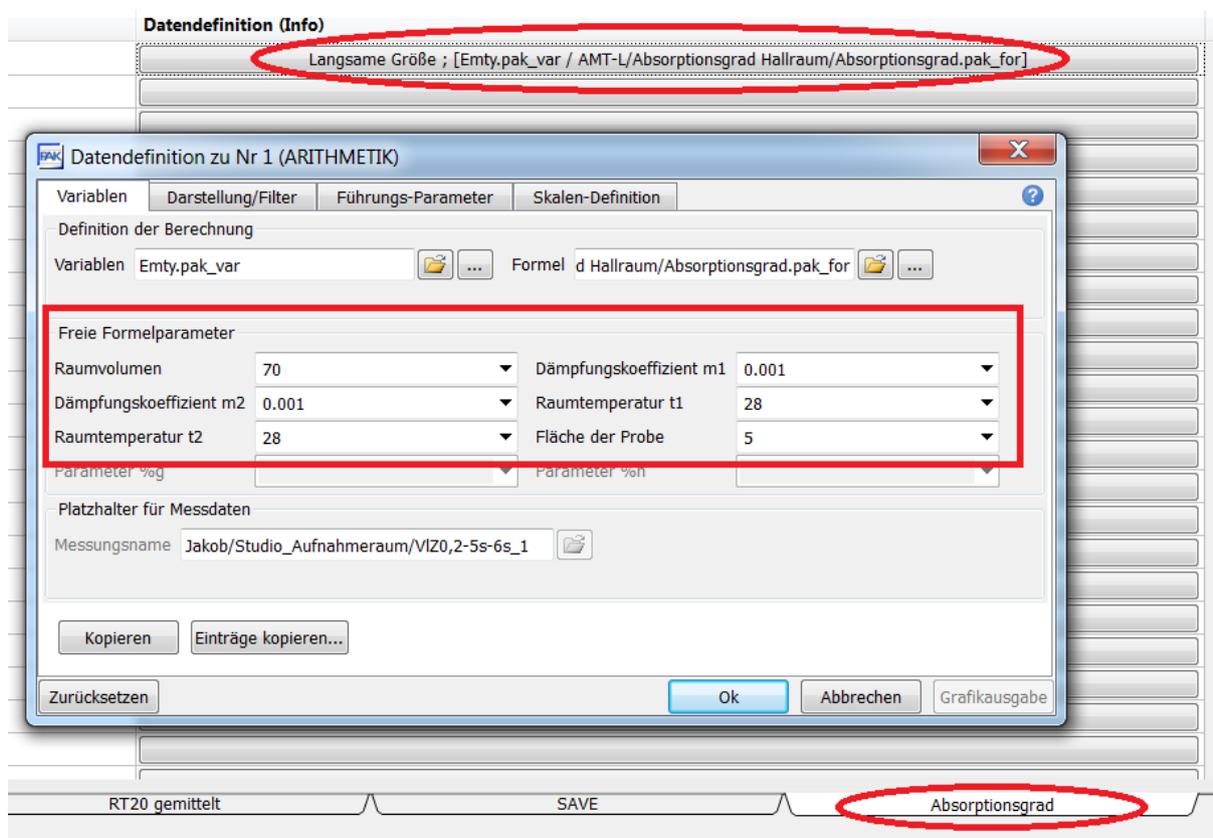


Abb. 39 – Eingabe freier Formelparameter – Karteireiter Absorptionsgrad

<b>Karteireiter</b>	<b>Beschreibung</b>
Online	Aktuelle Spannungs- und Schalldruckverläufe während der Messung
Berechnen RT20	Berechnen der Nachhallzeiten (Dauer ca. 3 min). Danach werden die aktuellen Nachhallzeiten angezeigt.
SAVE	Speichern der berechneten Nachhallzeiten
Absorptionsgrad	In der Auswertung wird der Absorptionsgrad für jedes Terzband berechnet. Hier müssen freie Formelparameter eingegeben werden.



Abb. 40 – Übersicht über die Karteireiter



## 5. Impedanzrohr-Messungen

### 5.1. Akustische Zweitormessung

#### 5.1.1. Überblick

Verschiedene Proben von absorbierendem Material sollen auf ihre akustischen Parameter überprüft werden. Mithilfe eines Impedanzrohres und der Kettenmatrixmethode können diese vollständig bestimmt werden (siehe Akustische Messtechnik VO Skript). Im Labor wird die Kettenmatrixmethode mit vier Mikrofonen angewandt. Mit dieser können mehr Parameter bestimmt werden als mit der Übertragungsfunktionsmethode, welche mit zwei Mikrofonen auskommt.

*Übertragungsfunktionsmethode (2mic):*

- Reflexionsfaktor / Reflexionsgrad
- Absorptionsgrad für senkrechten oder diffusen Schalleinfall
- Wandimpedanz / Wandadmittanz

zusätzlich

*Kettenmatrixmethode (4mic):*

- Absorberimpedanz
- Ausbreitungskonstante
- Strömungsimpedanz
- Transmissionsfaktor
- Durchgangsdämpfung
- Absorberschallgeschwindigkeit



#### 5.1.2. Equipment

- 4-Mikrofon-Impedanzrohr mit zwei Lautsprechern
- Laptop: HP-ProBook plus Matlabprogramm „CATS8“
- 4 Beyer Dynamic MM1 Mikrofone (lineare Einstellung, 0dB)
- Leistungsverstärker Alesis RA300
- RME Fireface 800
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Multimeter zum Messen der Ausgangsspannung am Verstärker

## 5.1.3. Messaufbau

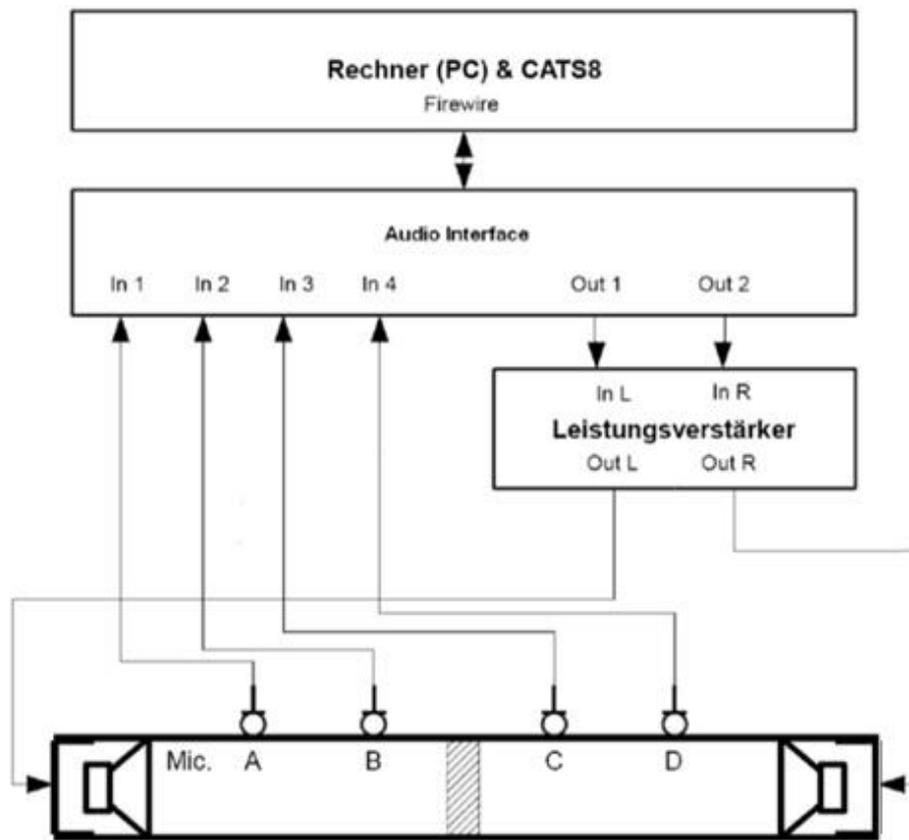


Abb. 41 – Messaufbau 4-Mikrofon-Impedanzrohr

Die Mikrofone lassen sich entweder in enger oder in weiter Lage (siehe Abb. 42 und Abb. 43) anordnen. Werden zwei Messungen mit beiden Lagen durchgeführt, so können die Messungen mit der Software „CATS8“ zu einer Messung mit einem erweiterten Frequenzbereich zusammengeführt werden.



Abb. 42 – Impedanzrohr mit engem Mikrofonabstand



Abb. 43 – Impedanzrohr mit weitem Mikrofonabstand

### Software „CATS8“:

Die Steuerung des Messvorgangs sowie die Auswertung, Berechnung, Anzeige und Weiterverarbeitung der akustischen Parameter erfolgt durch die Software „CATS8“, welche in Matlab implementiert ist. In folgender Abbildung ist das Hauptfenster der Software mit der Menüleiste zu sehen:

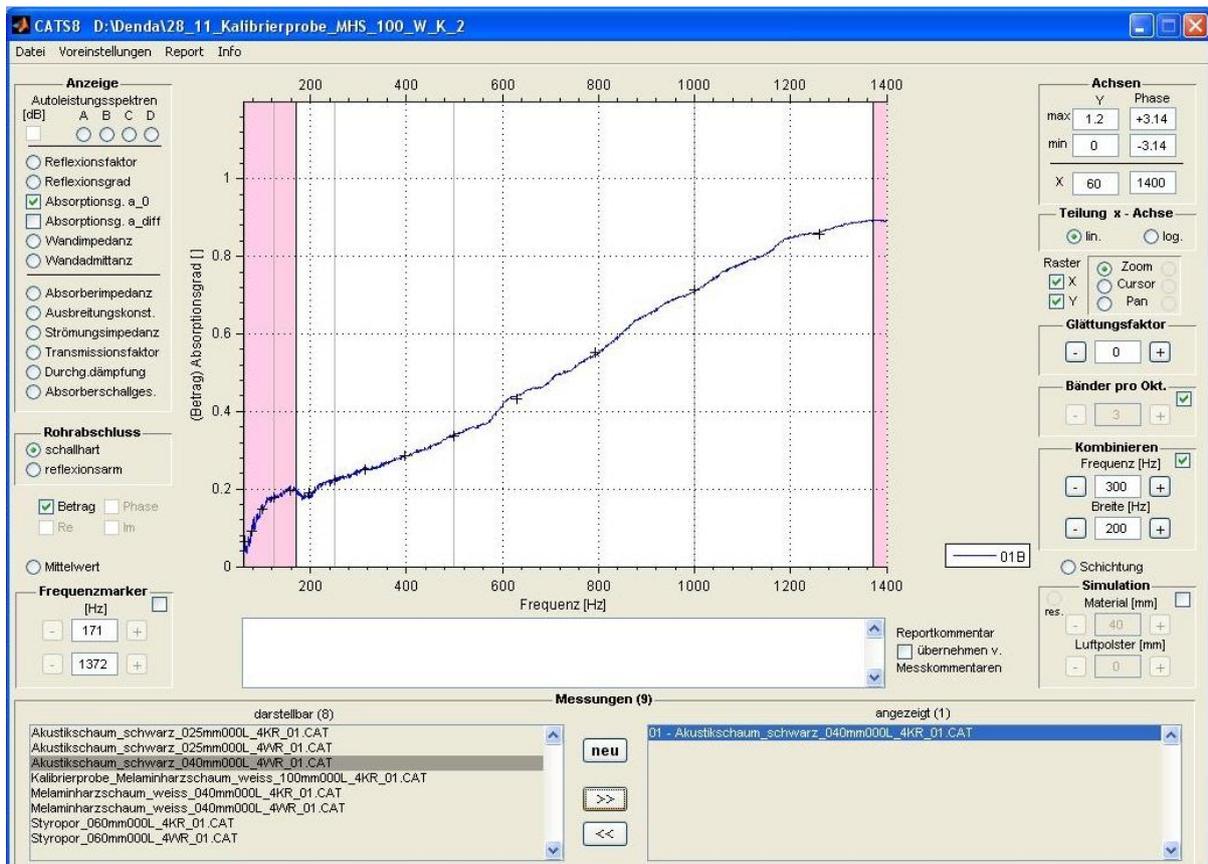
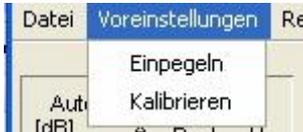


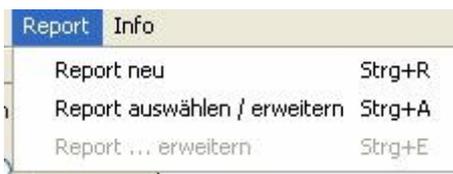
Abb. 44 – CATS8 Hauptfenster



Unter dem Menüpunkt *Datei* kann ein neues Projekt erstellt beziehungsweise ein bestehendes Projekt geöffnet werden. Die Funktion *CATS8 beenden* schließt das Programm.



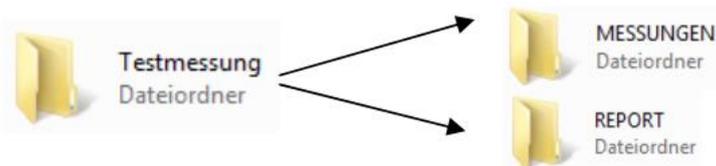
Mittels des Menüpunkts *Voreinstellungen* lassen sich die Funktionen *Einpegeln* und *Kalibrieren* aufrufen.



Der Menüpunkt *Report* erlaubt das Erstellen eines Reports der aktuellen Messung, weiters können bestehende Reporte erweitert werden.

#### 5.1.4. Anlegen eines Projekts, Einpegeln und Kalibrieren

Ein neues Projekt wird mittels „*Datei* → *Projekt neu/öffnen*“ angelegt. In der nun erscheinenden Dateiauswahlbox kann mittels „*Neuen Ordner erstellen*“ nun ein neuer Projektordner erstellt werden und gleichzeitig ein Kommentar zum Projekt eingegeben werden. Dieser Kommentar lässt sich jederzeit unter „*Info* → *Projekt – Information*“ einsehen und editieren. CATS8 legt nun eine Ordnerstruktur an, deren übergeordnetes Verzeichnis den eingegebenen Namen trägt:



Wurde bereits ein Projekt angelegt, welches geöffnet werden soll, kann dies durch selbiges Menü erreicht werden, indem einfach der Ordner des gewünschten Projektes ausgewählt wird.

#### Einpegeln

Es ist wichtig, dass es während der Messprozedur zu keiner Übersteuerung an den Elementen in der Aufnahme- und Wiedergabekette kommt. Hierfür ist ein korrektes Einpegeln notwendig. Ausgangsseitig ist darauf zu achten, dass der D/A Wandler und die Ein- und Ausgänge des Leistungsverstärkers nicht übersteuert werden. Eingangsseitig ist darauf zu achten, dass der A/D Wandler nicht übersteuert wird. Das Einpegeln der Ein- und Ausgänge erfolgt bei leerem Rohr, es darf sich also keine Probe im Probenhalter befinden. Für das korrekte Einpegeln des Messsystems bietet die Software die Funktion Einpegeln

unter dem Menüpunkt „Voreinstellungen ⇒ Einpegeln“. Es öffnet sich ein Fenster mit den einzustellenden Sollwerten zum Einpegeln (siehe Abb. 45).

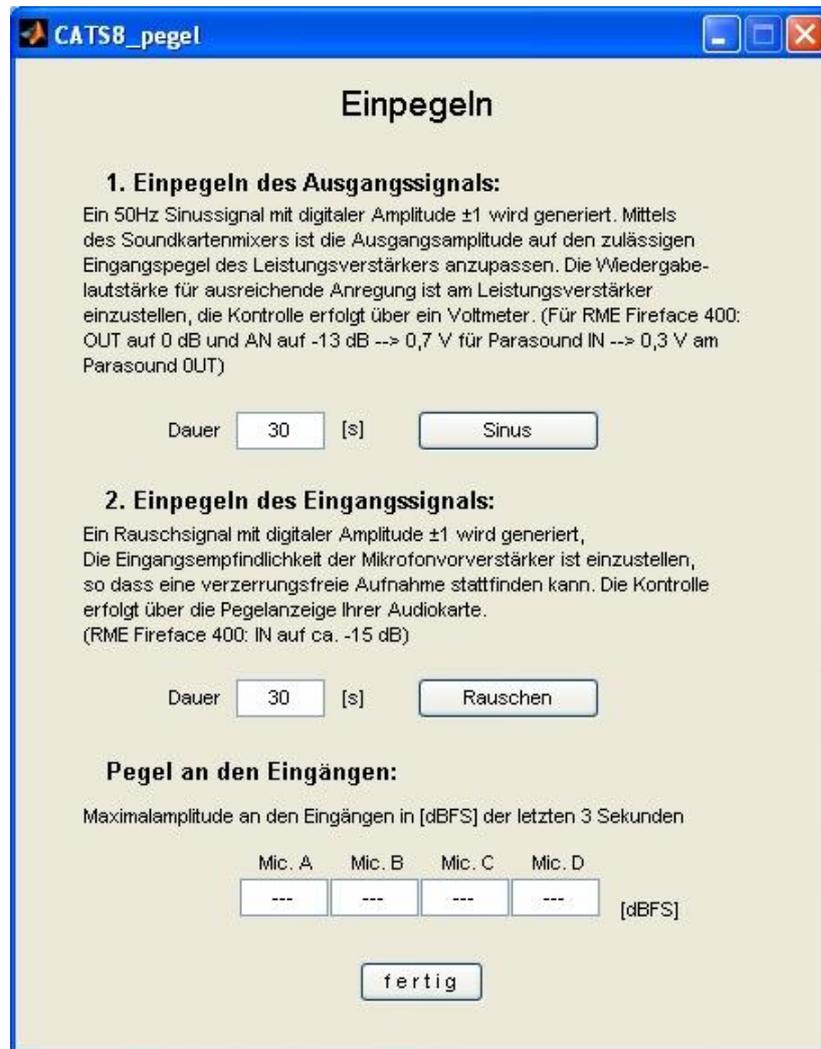


Abb. 45 – Fenster zum Einpegeln von Ein- und Ausgangssignal

### 1. Einpegeln des Ausgangssignals:

Nach Betätigen des Buttons „Sinus“ wird ein 50Hz Sinuston mit der digitalen Amplitude  $\pm 1$  generiert und ausgespielt. Mittels des Soundkartenmixers ist die Ausgangsamplitude auf den zulässigen Eingangspegel des Leistungsverstärkers anzupassen. Weiters ist die Ausgangsspannung des Leistungsverstärkers für die ausreichende Anregung der Lautsprecher zu überprüfen. Die Ein- und Ausgangsspannungen am Verstärker sind mittels Voltmeter zu überprüfen.

Folgende Einstellungen gelten für das Fireface 800 in Verbindung mit dem Verstärker:

Fireface Analog out auf -13db  $\Rightarrow$  0,7 V am Verstärker Input  $\Rightarrow$  0,3 V am Verstärker Output

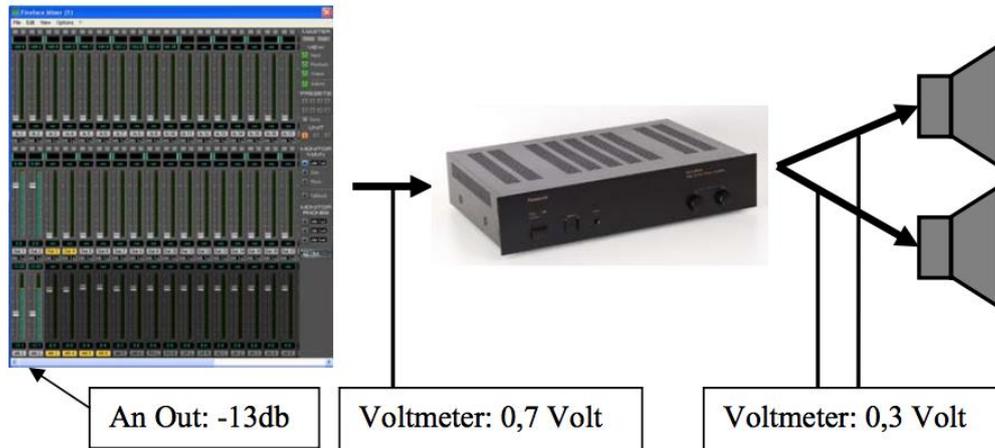


Abb. 46 – Einpegeln des Ausgangssignals

## 2. Einpegeln des Eingangssignals:

Nach Betätigen des Buttons „Rauschen“ wird ein Rauschsignal mit digitaler Amplitude  $\pm 1$  generiert und ausgespielt. Die Mikrofonvorverstärker sind so einzustellen, dass eine verzerrungsfreie Aufnahme stattfinden kann. Die Kontrolle erfolgt über den Soundkartenmischer.



Abb. 47 – Einpegeln des Eingangssignals

## Kalibrieren

Ziel des Kalibrierens ist es, alle möglichen Störeinflüsse und Fehler welche das Messergebnis verfälschen, zu beseitigen um möglichst richtige und genaue Ergebnisse zu bekommen. Der Schalldruck im Rohr wird von Mikrofonen gemessen, welche in der Regel keinen linearen Frequenzgang besitzen. Mit dem Kalibrieren werden die Unterschiede in den Übertragungseigenschaften der einzelnen Mikrofonkanäle eliminiert, die Nichtlinearität hat somit keinen Einfluss mehr auf das Messergebnis. Somit können exakte Messungen auch mit

„normalem“ Equipment durchgeführt werden, spezielles (meist sehr teures) Messequipment wird nicht benötigt.

Bei der Kalibrierung sollte sich ein möglichst gut absorbierender Werkstoff im Probenhalter befinden, um die Genauigkeit der Kalibrierungsfunktion zu gewährleisten und starke Reflexionen zu vermeiden.

**! Wichtig: Zum Kalibrieren wird eine Probe 100mm Melaminharzschaum empfohlen !**

#### Erfassen der Kalibrierfunktion:

Ist die Kalibrierfunktion gespeichert, kann diese für mehrere Messungen verwendet werden, solange keine prinzipiellen Änderungen an der Hardware durchgeführt werden. Weiters müssen die nicht verwendeten Mikrofonöffnungen mit dem Verschlusspfropfen verschlossen werden. Der Kalibriervorgang wird mit der Funktion „Kalibrieren“ unter dem Menüpunkt „Voreinstellungen“ gestartet.

Es öffnet sich ein Fenster, in welchem folgende **Einstellungen** zur Kalibrierung vorgenommen werden müssen:

- *Method*: Hier kann zwischen *2 Mikrofon/ 3 Mikrofon* oder *4 Mikrofon* gewählt werden. Wir verwenden 4 Mikrofone.
- *Kalibrierung*: Hier ist QGU (Kalibrierung quasi gleichen Umfangs) auszuwählen.
- *Material*: Hier ist der Namen des Materials der benutzten Kalibrierprobe einzugeben.
- *Materialstärke*: Hier ist die Stärke [mm] der benutzten Kalibrierprobe einzugeben.
- *Temperatur*: Hier ist die Temperatur des Raumes einzugeben.
- *Luftfeuchtigkeit*: Hier ist die Luftfeuchtigkeit des Raumes einzugeben.

Danach wird die Kalibrierung mit dem Button „kalibrieren“ gestartet.

**! Wichtig: Für die 4 Mikrofonmethode folgen viermal zwei (links- und rechts) Beschallungen, bei denen die Mikrofonpaare insgesamt viermal getauscht werden müssen !**



Die Software weist mittels Dialogboxen vor jeder Beschallung darauf hin, die Mikrofonpaare in die angezeigte Reihenfolge zu bringen. Mittels kurzer Impulse prüft die Software, ob die Mikrofone richtig platziert wurden. Ist dies nicht der Fall, wird erneut die Dialogbox angezeigt. Sind die Mikrofone richtig angeordnet, folgt automatisch die Kalibrierung. Nach

der letzten Beschallung zeigt die Software die ermittelte Kalibrierfunktion an, sie ist gespeichert und kann für die folgenden Messungen verwendet werden.

### 5.1.5. Messung starten

Nachdem die Kalibrierfunktion erfasst wurde, kann mit den eigentlichen Messungen begonnen werden. Die zu messende Materialprobe ist im Probenhalter zu platzieren, die Oberfläche des Absorbers muss plan mit dem Probenhalter abschließen (siehe Abb. 48).



Abb. 48 – Probenhalter mit Melaminharzschaum

Ein neuer Messvorgang wird mit dem Button „NEU“ im Hauptfenster (siehe Abb. 49) gestartet.

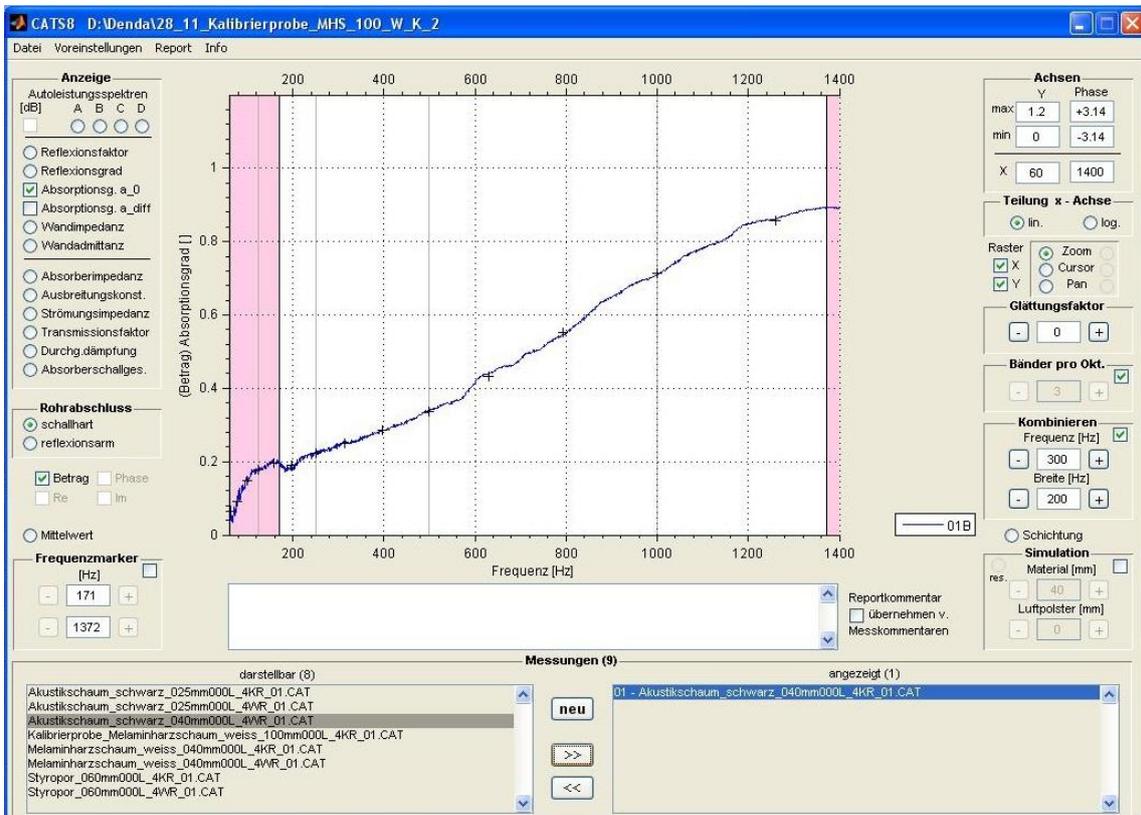


Abb. 49 – CATS8 Hauptfenster

Es erscheint ein Fenster, in welchem Einstellungen für die Messung gemacht werden können. Das Fenster ist in 3 Bereiche unterteilt:

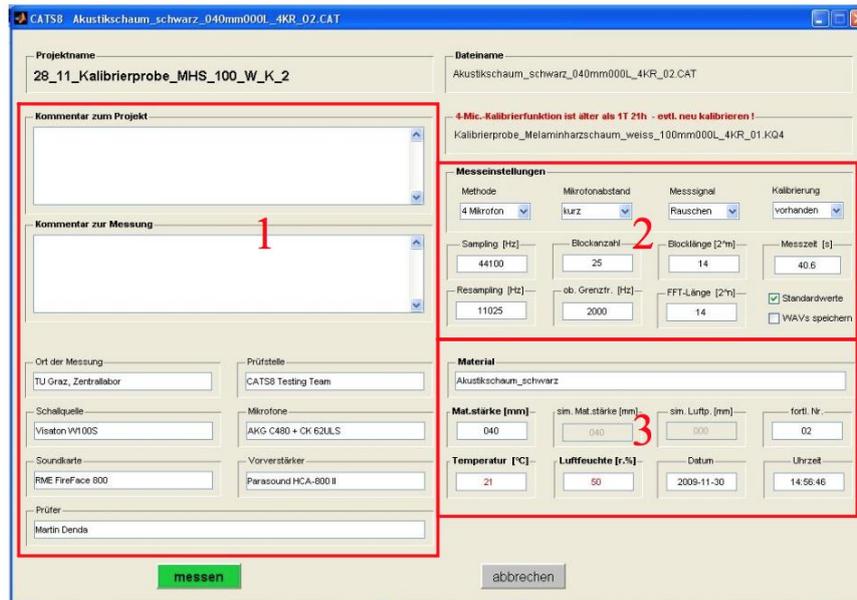


Abb. 50 – Messfenster mit Messeinstellungen

### 1. Metadaten:

Hier können Informationen und Kommentare zum erstellten Projekt beziehungsweise der Messung eingegeben und jederzeit erweitert werden. Im unteren Bereich finden sich Eingabefelder zu Labordaten, wie zum Beispiel zum Ort der Messung, dem verwendeten Equipment oder dem Namen des Prüfers.

### 2. Messeinstellungen :

- Methode: Wir verwenden die 4-Mikrofonmethode.
- Mikrofonabstand: Eng oder weit. Der Mikrofonabstand beeinflusst den gültigen Frequenzmessbereich.
- Messsignal: **Rauschen**
- Kalibrierung:  
Wird „**vorhanden**“ gewählt, wird die zuvor erstellte Kalibrierungsfunktion für die bevorstehende Messung benutzt.
- Sampling / Resampling / Obere Grenzfrequenz / Messzeit:  
Dies sind Einstellungen welche mit der installierten Soundkarte und der internen Signalverarbeitung zusammenhängen. Es wird empfohlen, die Standardwerte zu benutzen, welche durch aktivieren der Checkbox „**Standardwerte**“ gesetzt werden.
- WAVs speichern: Aktivieren speichert Audiodaten der einzelnen Mikrofone.

### 3. Materialeinstellungen :

*Material:* Namen des verwendeten Materials  
*Materialstärke:* Stärke des verwendeten Materials in mm  
*Temperatur:* Temperatur im Raum  
*Luftfeuchte:* Luftfeuchte im Raum  
*Fortlaufende Nummer / Datum / Uhrzeit:* wird automatisch erstellt  
 Nachdem alle Daten eingegeben wurden, wird die Messung durch Drücken des Buttons „**Messen**“ gestartet.

### 5.1.6. Auswertung

Die Anzeige und Weiterverarbeitung der Messergebnisse erfolgt im Hauptfenster der Software und ist in vier Bereiche unterteilt:

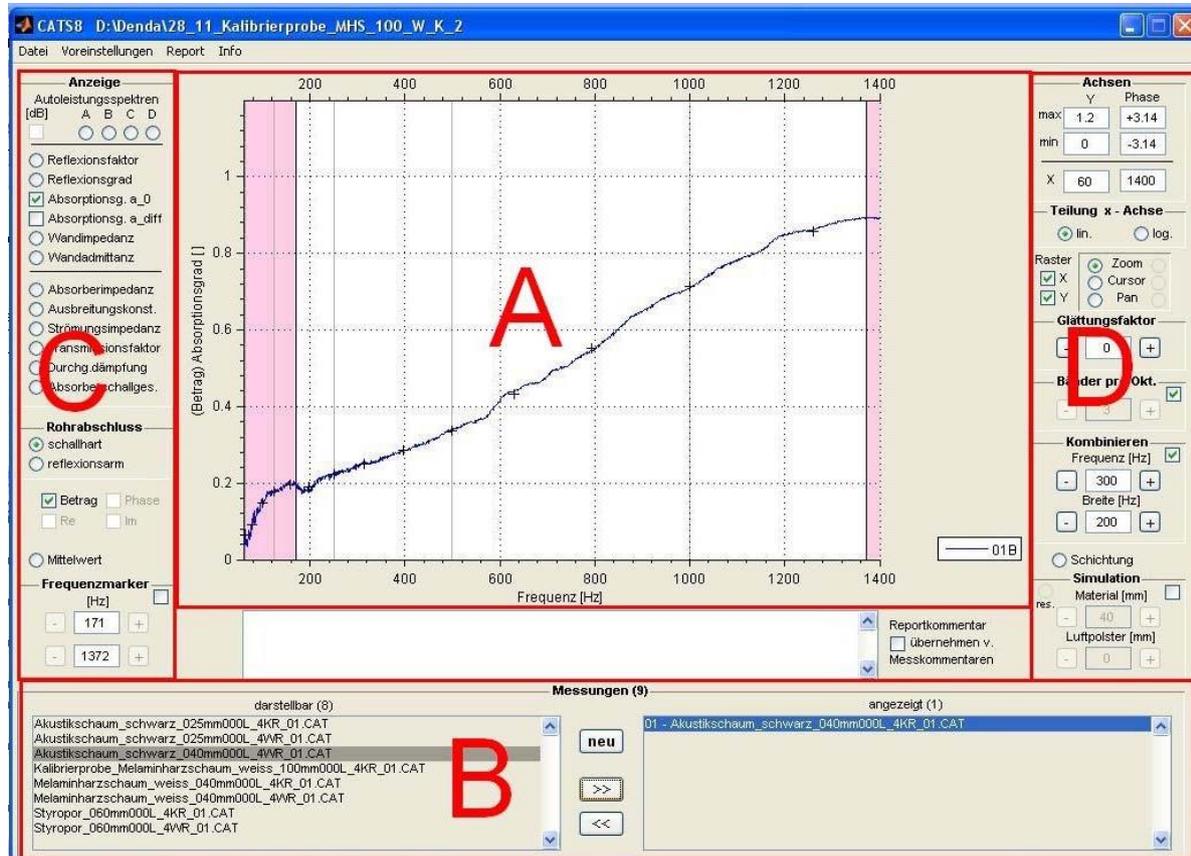


Abb. 51 – Auswertung im Hauptfenster (CATS8)

Folgende Tabelle gibt einen groben Überblick über die Funktionen der vier Bereiche auf die im Weiteren noch genauer eingegangen wird:

Bereich	Funktion
A	Diagrammanzeige, Darstellung der Messergebnisse
B	Dateiauswahlbox, zuständig für die Verwaltung und Anzeige der durchgeführten Messungen. Messungen in der rechten Auswahlbox werden angezeigt. Zusätzlich kann über die rechte Maustaste ein Drop-Down Menü geöffnet werden, in dem u.a. die T-Matrix Parameter angezeigt werden können.
C	Auswahl der anzuzeigenden akustischen Parameter, abhängig von der durchgeführten Messmethode
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstellungen zur Anzeige</li> <li>• Kombinieren</li> <li>• Simulationen (Unterschiedliche Stärken eines beliebigen Absorbers bestimmen)</li> <li>• Schichtung</li> </ul>

**Kombinieren:** Mithilfe dieser Funktion lassen sich Messungen mit weitem und Messungen mit kurzem Mikrofonabstand kombinieren, dies erweitert den gültigen Frequenzbereich. Um

diese Funktion zu nutzen wird der Absorber einmal mit weitem Mikrofonabstand und einmal mit kurzem Mikrofonabstand vermessen und unter dem gleichen Namen abgespeichert. Die Software erkennt automatisch die gleichen Namen und kombiniert beide Messungen zu einer Messung.

**Schichtung:** Mit dieser Funktion werden die Kettenmatrizen der Absorber hintereinander geschaltet und so eine Schichtung simuliert. Um zwei (oder mehrere) Absorber hintereinander zu schichten, verschiebt man einfach die entsprechenden Messungen in die rechte Dateiauswahlbox. Die Reihenfolge der Messungen in der Dateiauswahlbox bestimmt die Reihenfolge der Schichtung: Um die Schichtung durchzuführen, muss die Checkbox aktiviert werden. Die angezeigte Grafik in der Diagrammanzeige gilt nun für die hintereinander geschichteten Absorber.

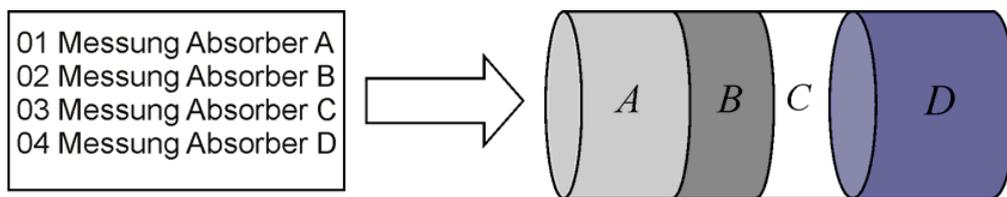


Abb. 52 – Prinzip der Reihung bei Schichtung mehrerer Materialien

**Simulation:** Hiermit ist es möglich, unterschiedliche Stärken eines beliebig gemessenen Absorbers zu bestimmen. Auch das Simulieren eines nachgeschalteten Luftpolsters ist möglich. Der zu verändernde Absorber wird in der rechten Dateiauswahlbox markiert, Stärke und anschließender Luftpolster kann mithilfe der Checkboxes verändert werden. Der Dateiname des Absorbers wird automatisch um die eingegebenen Werte verändert. Um die ursprünglichen Werte wiederherzustellen, betätigt man den Button „Reset“.

### 5.1.7. Erstellen eines Reports

Nachdem die gewählten Messungen mit allen Einstellungen, wie Mittelung, Glättung, Bänder pro Oktave, Kombination usw., zusammengestellt wurden, bietet CATS8 die Möglichkeit die Ergebnisse automatisch in einen Report zu schreiben. Dabei wird eine *.html* Datei erzeugt, welche die aktuell dargestellten Kurven, die Kommentare zum Projekt, zur Messung und zum Report, sowie Tabellen und die genauen Werte der angezeigten Frequenzbänder zeigt. Weiters wird eine Excel-Tabelle unter demselben Namen angelegt, in ihr befindet sich eine Auflistung der Messdaten. Mittels aktivieren der Checkbox „Bänder pro Oktave“ bestimmt man in wie viele Bänder die Oktaven zwischen den Fixbändern (31.25 Hz, 62.5 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz) unterteilt werden. In der Abbildung werden nun die Oktavfrequenzen mit senkrechten grauen Linien und die Unterteilungen mit schwarzen Kreuzen dargestellt.

Mit dem Menüpunkt „Report → Report neu“ wird nach der Aufforderung zur Eingabe des Reportnamens ein neuer Report erstellt. Dieser besteht aus:

- einer Überschrift, die dem Projektnamen entspricht,
- den Kommentaren zum Projekt und zur Auswahl,
- der Abbildung mit dazugehöriger Legende und Einstellungen, sowie
- den zu den einzelnen Kurven gehörigen Tabellen.

## 5.2. Akustische Dreitormessung

### 5.2.1. Überblick

Wird der bei einer Zweitor-Messung eingebrachte Absorber durch einen porösen, offenporigen Gewebeschlauch ersetzt, dann dringt das anregende Schallsignal auch nach außen, ein akustisches Dreitor entsteht. Sind nun die Einzelleistungen  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  bekannt so können mit  $P_1$  als Referenz verschiedene Schlauchkennwerte definiert, sowie über eine Leistungsbilanz der in der Schlauchwand absorbierte Leistungsanteil  $P_4$  ermittelt werden.

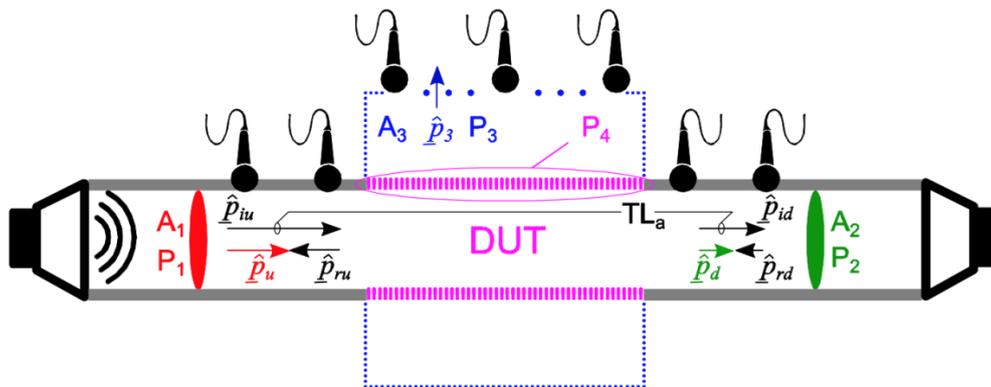


Abb. 53 – Aufbau einer Dreitormessung

### 5.2.2. Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung
- 8 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 6 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S.
- 14 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- 14 BNC – Kabel (PAK Mobile MKII – Mikrofon)
- Impedanzrohr + Lautsprecher
- Parasound Leistungsverstärker
- Lautsprecherkabel
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte

### 5.2.3. Messablauf

Die Anordnung der Mikrofone und des Impedanzrohres sieht man in Abb. 54. An beiden Enden des Rohres sind Lautsprecher angebracht, auf jeder Seite befinden sich drei Mikrofone im Impedanzrohr und acht Mikrofone sind auf einer Hüllfläche außen um den Gewebeschlauch angebracht.

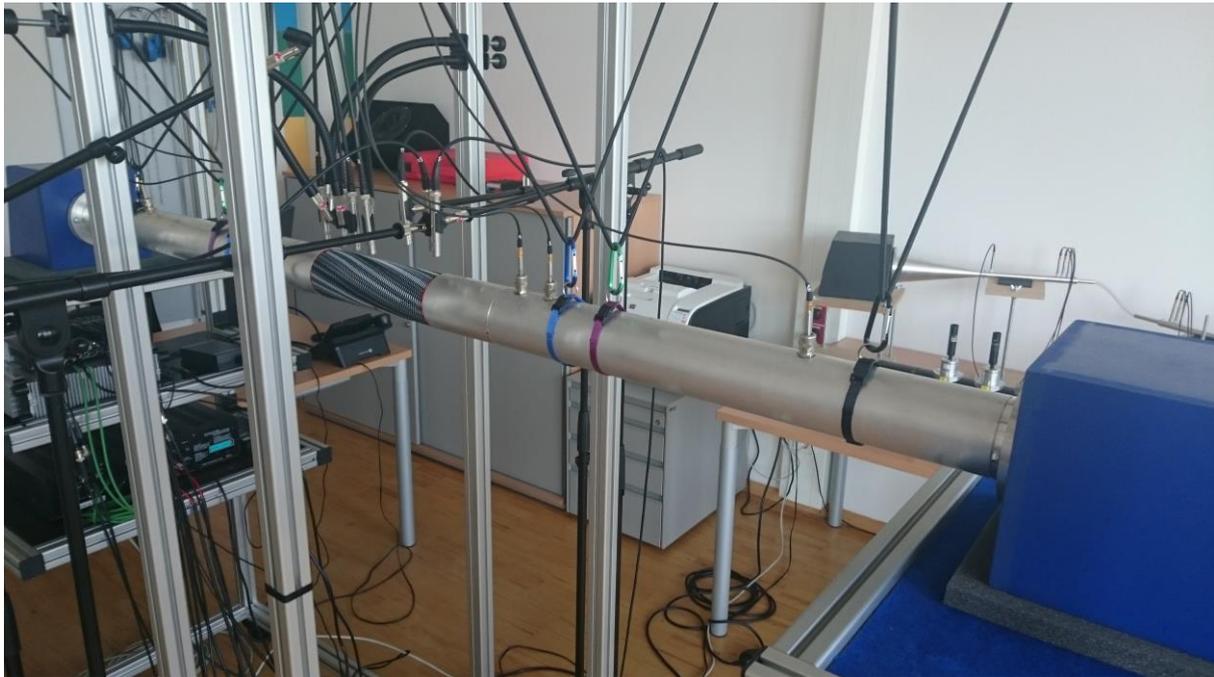


Abb. 54 – Impedanzrohr mit Gewebeschlauchprobe

Die Steuerung des Messvorgangs sowie die Auswertung, Berechnung, Anzeige und Weiterverarbeitung der Schlauchkennwerte (SKW) erfolgt durch die Software „PAK“. Einen Überblick über diese Software sehen Sie in Kapitel 2.1.

Wir verwenden das Projekt „AMT GeSA“ und die Messdefinition „GeSA“. Zum Öffnen der Messdefinition siehe Kapitel 2.1.

#### 5.2.4. Messung starten

Siehe Kap. 2.1.4

#### 5.2.5. Auswertung

Nach der abgeschlossenen Messung können die Ergebnisse über verschiedene Karteireiter ausgewertet werden (siehe Abb. 55).

<b>Karteireiter</b>	<b>Beschreibung</b>
Zeitsignale innen (M1 – M6)	Aktuelle Schalldruckverläufe während der Messung (Mikrofone im Impedanzrohr)
FFT innen LS1 (M1 – M6)	FFT der Mikrofone im Impedanzrohr (Anregung vom 1. Lautsprecher) (40Hz – 3kHz)
Zeitsignale aussen (M7 – M14)	Aktuelle Schalldruckverläufe während der Messung (Mikrofone auf der Hüllfläche um den Gewebes Schlauch)
FFT aussen LS1 (M7 – M14)	FFT der Mikrofone auf der Hüllfläche um den Gewebes Schlauch (Anregung vom 1. Lautsprecher) (40Hz – 3kHz)
Leistungsbilanz	Gemessene Schalleistungen (siehe Abb. 53)
SKW-Übersicht	Schlauchkennwerte der aktuellen Messung
TL	Durchgangsdämpfung der Messreihen. Hier können händisch verschiedene Messdaten von unterschiedlichen Proben importiert werden.
SKW2	Verhältnis (P1/P2)
SKW3	Verhältnis (P1/P3)
SKW4	Verhältnis (P1/P4)
SKW5	$(TL + SKW3)/2$
Matlab Export	Über diesen Button werden die Zeitrohdaten an Matlab exportiert und der TL berechnet.



Abb. 55 – Überblick der Karteireiter

## 6. Optionale Messungen

### 6.1. Raumeignungsprüfung nach ISO 3745

#### 6.1.1. Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung (Laptop)
- 8 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 8 BNC – Kabel (PAK Mobile – Mikrofon)
- 8 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- **Dodekaederlautsprecher Norsonic Nor276 + Verstärker und Kabel**
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Gehörschutz

#### 6.1.2. Messablauf

Die Mikrofone werden mit ansteigender Seriennummer an den Kanälen **1 – 8** am PAK Mobile MKII angeschlossen. Bei der Aufstellung der Mikrofone ist zu beachten, dass für die Auswertung der Eignungsprüfung nach Norm auf 5 Mikrofonbahnen um die Schallquelle gemessen wird. Dabei muss auf jeder Bahn bzw. bei jeder Messung, das Mikrofon am zweiten Kanal im fixen Abstand von 1m zur Schallquelle positioniert werden (siehe Abb. 59). Der Dodekaeder befindet sich dabei in der Raummitte. Als Messsignal verwenden wir weißes Rauschen vom Norsonic Verstärker des Dodekaeders.

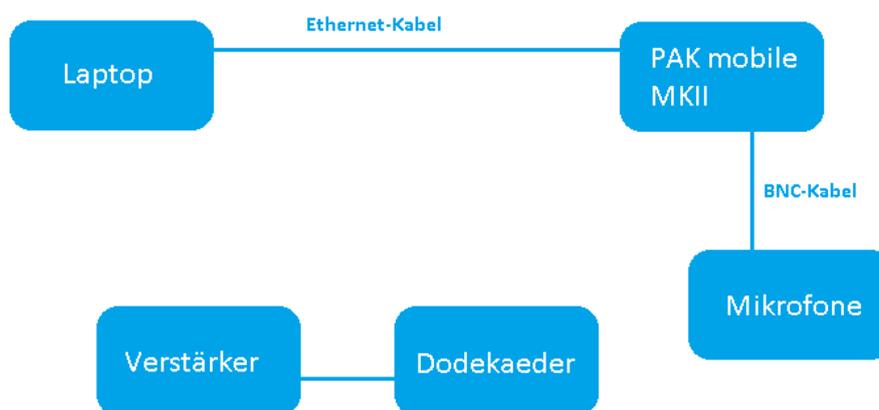


Abb. 56 – Messaufbau mit Dodekaeder

Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. Wir verwenden das Projekt „AMT RaR Prüfung ISO 3745“ und die Messdefinition „RaR Eignungsprüfung ISO 3745“.

### 6.1.3. Messreihenfolge

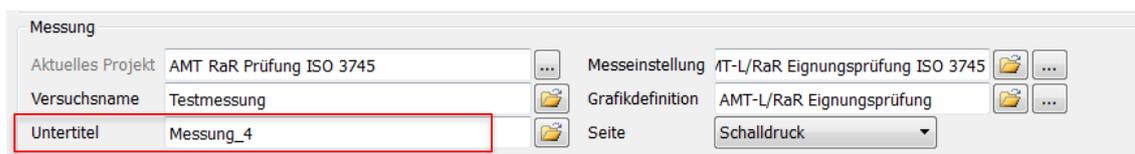
Die Messreihenfolge muss für eine korrekte Auswertung der Ergebnisse unbedingt eingehalten werden!

#### 1. Genau 8 Mikrofone pro Bahn:

- Fünf Mikrofonbahnen werden nacheinander vermessen, und jede für sich in einem Karteireiter dargestellt.
- Die Messungen werden absteigend gespeichert. Mikrofonbahn 5 ist die erste die vermessen wird, Mikrofonbahn 1 die letzte. Es können auch weniger Bahnen vermessen werden, allerdings verschiebt sich dadurch die Nummerierung (siehe Abb. 58).
- Bei jeder Messung muss das Mikrofon an Kanal 2 im Abstand von 1m zur Schallquelle positioniert werden.
- Mikrofon 1 und Mikrofon 8 müssen im Mindest- bzw. Maximalabstand von der Schallquelle positioniert werden.
- Die restlichen Mikrofone können beliebig innerhalb des Mindest- und Maximalabstandes positioniert werden.

#### 2. Erweiterung auf genau 16 Mikrofone pro Bahn:

- Es besteht die Möglichkeit einer Erweiterung je Bahn um zusätzliche 8 Mikrofone (9-16). Da „PAK“ die letzten 5 Messdurchgänge zur Auswertung heranzieht, muss die Erweiterung **VORHER** durchgeführt werden.
- Der Untertitel (siehe Abb. 57) und die Nummer der Bahn, die erweitert werden soll, müssen für das nachträgliche Aufrufen der Messdaten notiert werden.



Messung			
Aktuelles Projekt	AMT RaR Prüfung ISO 3745	Messeinstellung	AT-L/RaR Eignungsprüfung ISO 3745
Versuchsname	Testmessung	Grafikdefinition	AMT-L/RaR Eignungsprüfung
Untertitel	Messung_4	Seite	Schalldruck

Abb. 57 – Untertitel der Messung

- Ein Beispiel der Mikropositionierung findet sich in Abb. 59. Nach allen Messdurchläufen muss die Grafikdefinition geöffnet werden. Im Karteireiter **jeder gewünschten Bahn** müssen die Datendefinitionen Nr. 7, 8 und 9 aktiviert werden, um für drei verschiedene Terzmittenfrequenzen die weiteren Mikrofone auswerten zu können. Zur Betrachtung der Messdaten, müssen diese in einer Datendefinition manuell ausgewählt werden (siehe Abb. 60).

Variablen: AMT-L/RaR Prüfung ISO 3745 8 Mic.pak\_var      Formel: AMT-L/RaR Eignungsprüfung ISO 3745/path1\_1000\_8mic.pak\_fo

Variable	Messungsname	Info
1 m1p1	(1.) Letzte Messungen	
2 m2p1	(1.) Letzte Messungen	
3 m3p1	(1.) Letzte Messungen	
4 m4p1	(1.) Letzte Messungen	
5 m5p1	(1.) Letzte Messungen	
6 m6p1	(1.) Letzte Messungen	
7 m7p1	(1.) Letzte Messungen	
8 m8p1	(1.) Letzte Messungen	
9		
10 m1p2	(2.) Letzte Messungen	
11 m2p2	(2.) Letzte Messungen	
12 m3p2	(2.) Letzte Messungen	
13 m4p2	(2.) Letzte Messungen	
14 m5p2	(2.) Letzte Messungen	
15 m6p2	(2.) Letzte Messungen	
16 m7p2	(2.) Letzte Messungen	
17 m8p2	(2.) Letzte Messungen	
18		
19 m1p3	(3.) Letzte Messungen	
20 m2p3	(3.) Letzte Messungen	
21 m3p3	(3.) Letzte Messungen	

Hier werden die Messdaten in Variablen gespeichert, wobei die Daten von Bahn 1 (p1) immer die letzte Messung belegen. Werden z.B. nur 4 Bahnen vermessen, so bleiben die Variablen von Bahn 5 (p5) ungenutzt.

Abb. 58 – Messdaten mehrerer Messreihen werden zwischengespeichert

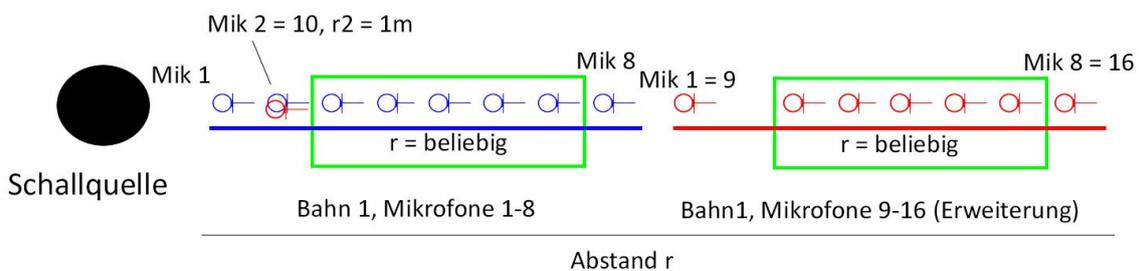


Abb. 59 – Anordnung der Mikrofone mit Erweiterungen für eine Bahn

1.) Aktivieren weiterer Messungen (7,8,9)

2.) Öffnen der Datendefinition. Die Ziffer am Ende steht für die Mittenfrequenz des Terzbandes, von welcher die Schalldruckabnahme betrachtet wird. Es muss nur die Nr. 7 bearbeitet werden.

3.) Öffnen der Variablen

4.) „Öffnen“ um Messdaten für Variablen 1 – 8 zu laden

5.) Messung auswählen und „Daten übernehmen und schließen“

6.) das Variablenfenster mit „Speichern und Schließen“ verlassen

**Untertitel: Messung\_2**

Variable	Messungname	...
1	m1p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
2	m2p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
3	m3p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
4	m4p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
5	m5p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
6	m6p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
7	m7p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2
8	m8p1	AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2

Variable	Wert	Variable	Wert
r1	3	r2	1
r3	3.6	r4	4
r5	4.5	r6	5
r7	5.2	r8	5.4

Abb. 60 – Erweiterung um 8 Mikrofone, hier bei Bahn 1

### 6.1.4. Messung starten

Siehe Kap. 2.1.4

### 6.1.5. Auswertung

#### Eingabe freier Formelparameter:

Gewisse Konstanten müssen zur Auswertung von Hand als freie Formelparameter eingegeben werden. Dazu wird die Datendefinition in der Grafikdefinition geöffnet (siehe Abb. 61) und die Werte eingetragen (siehe Abb. 62).

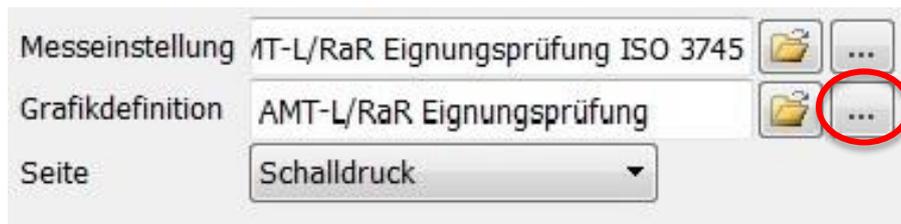


Abb. 61 – Öffnen der Grafikdefinition

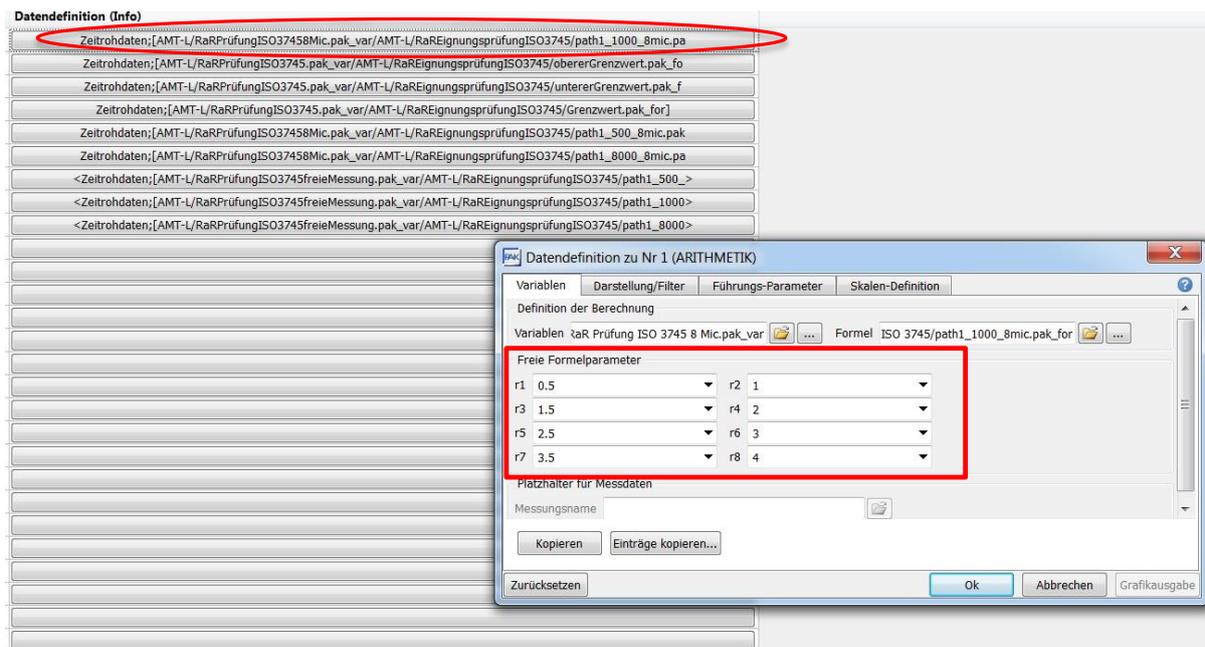


Abb. 62 – Eingabe freier Formelparameter (RaR Eignungsprüfung)

In folgenden Karteireitern gibt es freie Formelparameter:

- **Messpfad 1 - 5 → Datendefinition / RaREignungsprüfungISO3745**

Path1\_500\_8mic  
 Path1\_1000\_8mic  
 Path1\_8000\_8mic  
 obererGrenzwert  
 untererGrenzwert

Einzugeben sind die Abstände  $r_1 - r_8$  der Mikrofone zur Quelle. Bei den Grenzwertformeln kann händisch die Toleranz eingegeben / verändert werden. Als Grundeinstellung sind 4dB eingetragen. Dabei ist zu beachten, dass die Nummern der Abstände zur Quelle ( $r_1$  bis  $r_8$ ) mit den Nummern der Mikrofone übereinstimmen müssen.

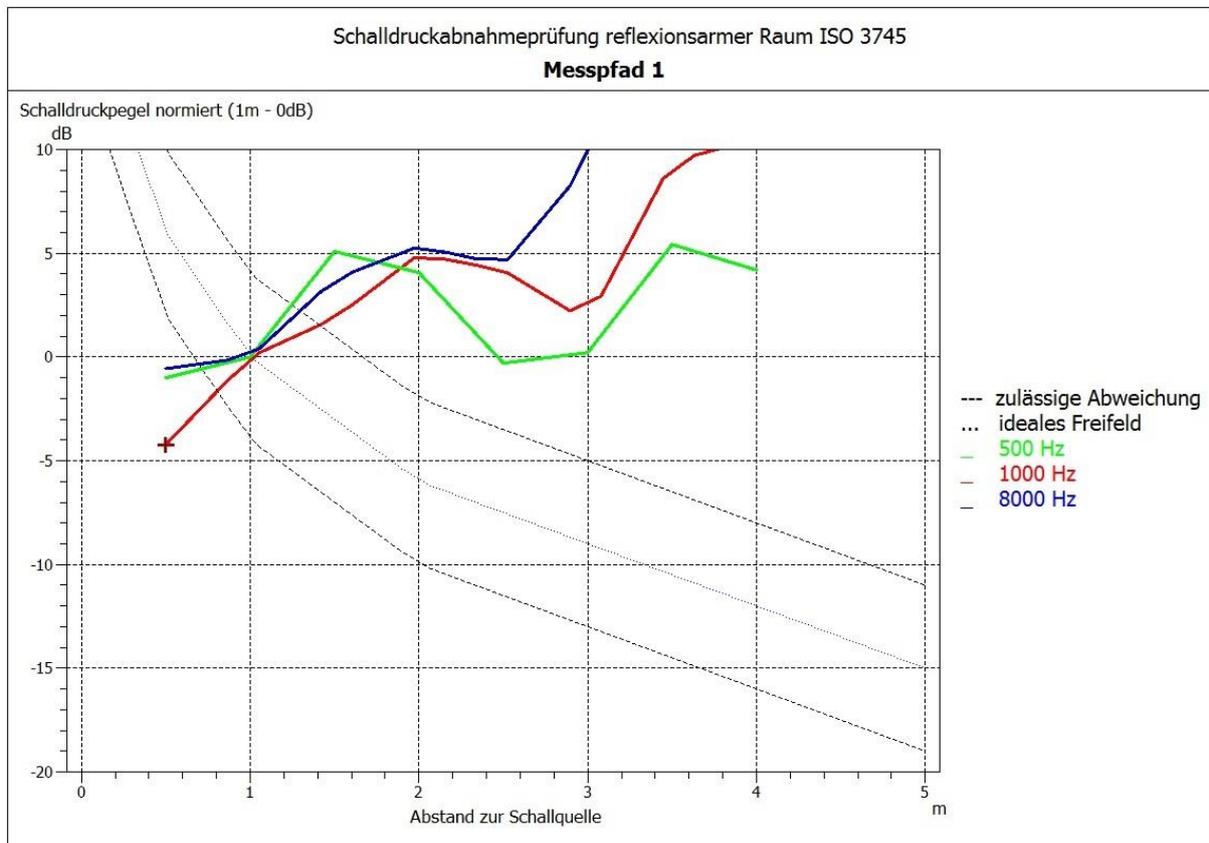


Abb. 63 – Grafikausgabe der Schalldruckabnahmeprüfung

<b>Karteireiter</b>	<b>Beschreibung</b>
Schalldruck	Zeitlicher Verlauf des Schalldrucks während der Messung für die Mikrofone 1-8
Terzschalldruckpegel	Aktueller Schalldruckpegel in Terzauflösung während der Messung oder Anzeige der letzten Messung der Mikrofone 1 - 8
Messpfad 1	Schalldruckabnahme graphisch dargestellt für Mikrofonbahn 1 für 3 fixe Terzmittenfrequenzen. Befindet sich die Kurve im Toleranzschlauch, ist die Norm erfüllt. Die Toleranz sowie die Abstände der Messpunkte werden über freie Formelparameter eingegeben.
Messpfad 2	Siehe Messpfad 1
Messpfad 3	Siehe Messpfad 1
Messpfad 4	Siehe Messpfad 1
Messpfad 5	Siehe Messpfad 1

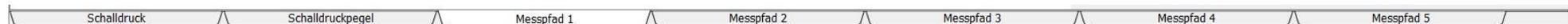


Abb. 64 – Übersicht über die Karteireiter

## 6.2. Hallraumprüfung nach ISO 3741 Anhang D

### 6.2.1 Equipment

- Messsystem PAK Mobile MKII von Müller BBM + Software PAK (Version 5.8)
- Laptop: Lenovo Thinkpad W520 + Stromversorgung
- Ethernet Kabel mit Steckern ohne Metallabschirmung
- **Audiointerface (RME Fireface 400)**
- **Klinkenverbindung Interface – Verstärker**
- **Firewire Kabel für Audiointerface**
- **BNC-Klinke Kabel als Verbindung Interface – PAK Mobile MKII**
- 6 Mikrofone + Stative + Klemmen: G.R.A.S. 46AE
- 6 BNC – Kabel (PAK Mobile MKII – Mikrofon)
- 6 Verbindungskabel PAK-Eingangsstecker auf BNC Kabel
- **Verstärker Parasound HCA-800II**
- **Eigener Messlautsprecher**
- **Lautsprecherkabel**
- Messgerät für Temperatur und relative Luftfeuchte
- Gehörschutz

### 6.2.2. Messablauf

Am 12. Kanal muss das Direktsignal angelegt werden. Die Mikrofone werden danach mit ansteigender Seriennummer an den Kanälen **1 - 6** am PAK Mobile MKII angeschlossen. Bei der Aufstellung der 6 Mikrofone ist zu beachten, dass laut Norm gewisse Mindestabstände eingehalten werden müssen.

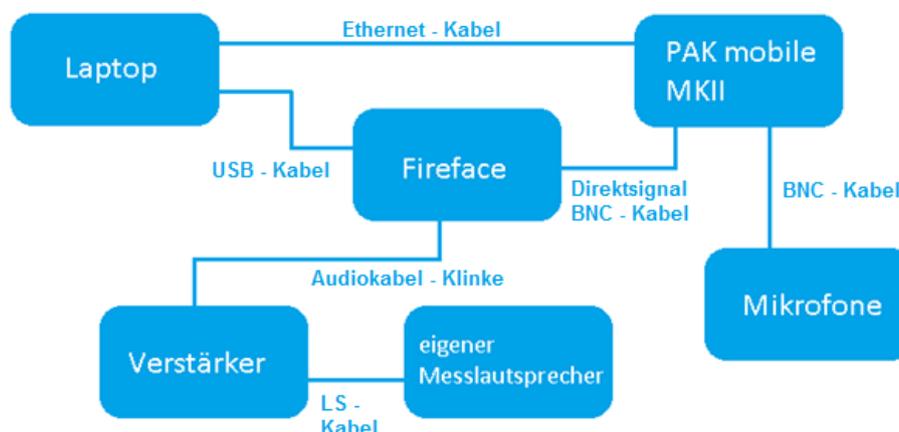


Abb. 65 – Messaufbau mit eigenem Messlautsprecher

Für die Messung wird ein eigenes .wav File verwendet, da mit tonalen Komponenten gearbeitet wird. Das File kann über jeden beliebigen Audio Player über den Messlautsprecher abgespielt werden.

Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. In der Software PAK wird über die Schaltfläche „Projekt“ das Projekt „AMT ISO 3741 Anhang D“ gewählt.

Nachdem die Messdefinition „Hallraumprüfung ISO 3741 Anh D“ geladen wurde, kann die eigentliche Messung durch Drücken des Buttons „Start Messung“ beginnen. Zum Öffnen der Messdefinition siehe Kapitel 2.1.

**! Kontrolle: An Kanal 12 muss das Direktsignal anliegen!**

### 6.2.3. Messung starten

Nach Klick auf „Start Messung“ öffnen sich drei neue Fenster (siehe Abb. 13), wovon das unterste einen „Start“-Button besitzt. Sobald dieser gedrückt wird, wartet die Software auf den benötigten Trigger und die Aufzeichnung startet von selbst. Als Trigger wird die Eingangsspannung am ersten Kanal verwendet. Das Signal kann vom Desktop aus abgespielt werden („ISO3741 Testsignal.wav“). Die Messprozedur beginnt automatisch durch das Abspielen des Audiofiles. Nun werden die erforderlichen Sinustöne (siehe VO Akustische Messtechnik) jeweils 30s (für die Töne im 100, 125 und 160Hz Terzband) bzw. 10s lang (alle weiteren Terzbänder) auf den Lautsprecher geschickt. Dazwischen erfolgt eine Pause von 10s. **Die Gesamtdauer dieser Messung beläuft sich auf ca. 2:20 Stunden.** Anhand der Diagramme kann online mitverfolgt werden, welcher Verlauf von Schalldruck und Spannung gerade gemessen wird.

### 6.2.4. Auswertung

Nach Beenden der Messung können die Ergebnisse im Fenster Grafikausgabe direkt durch Klicken auf den Karteireiter „Ergebnisse“ ausgewertet werden (siehe Abb. 66).

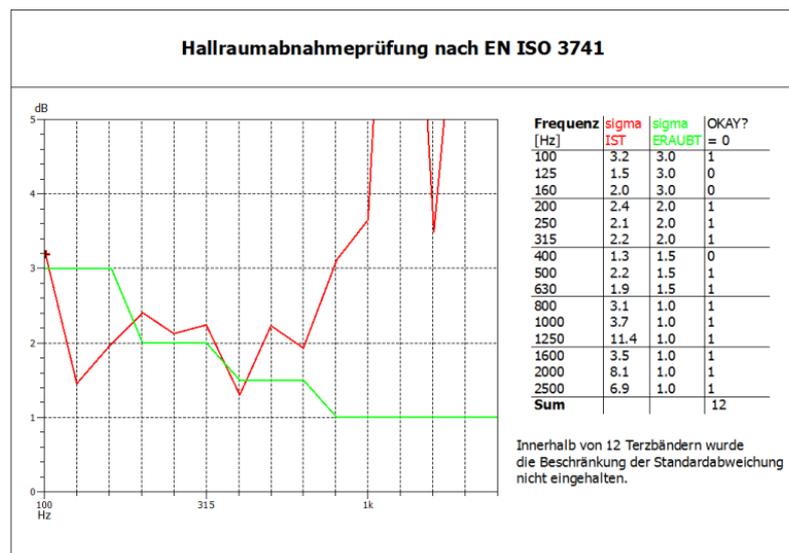


Abb. 66 – Darstellung der Ergebnisse einer Testmessung (Hallraumprüfung)

Karteireiter	Beschreibung
Online	Aktuelle Spannung des Direktsignals und aktueller Schalldruck an den Mikrofonen 1 - 6
Ergebnisse	Diagramm mit erlaubter sowie berechneter Standardabweichung der Hallraumprüfung

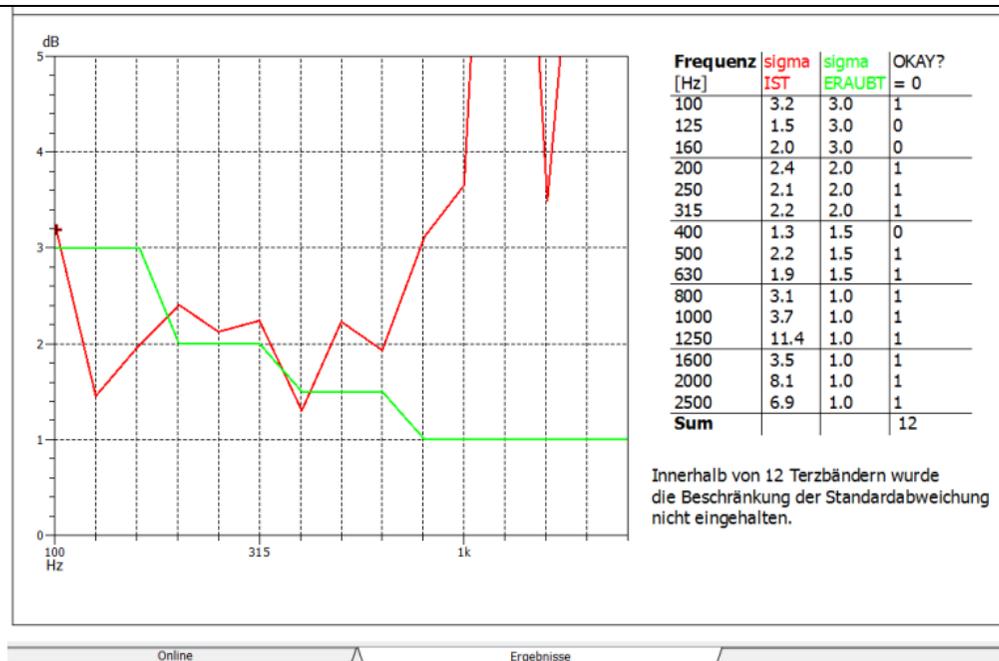


Abb. 67 – Karteireiter mit Ergebnissen (Hallraumprüfung)