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

1.	Einleitung.		. 1
2.	Allgemeine	25	. 2
2.1.	Das Mess	ssystem 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. Kali	ibrieren der Messmikrofone	5
2.	1.4. Mes	sung starten	9
2.2.	Messräur	me	10
2.2	2.1. Frei	ifeldraum der TU-Graz	10
2.2	2.2. Hall	lraum der TU-Graz	12
2.3.	Aufgaber	nstellungen	13
2	3.1. Mes.	sungen im reflexionsarmen Raum (Labortag 1)	13
2	3.2. Mes.	sungen im Hallraum (Labortag 2 & 3)	13
2	3.3. Imp	edanzrohr-Messungen (Labortag 4)	14
3.	Messunger	n im reflexionsarmen Raum	15
3.1.	Messrau	mprüfung nach diversen Klassifizierungen	15
3.2.	Schallleis	stungsmessung im reflexionsarmen Raum	15
3.2	2.1. Equ	ipment	15
3.2	2.2. Mes.	sablauf	15
3.2	2.3. Mes.	sreihenfolge	16
3.2	2.4. Mes	sung starten	16
3.2	2.5. Aus	wertung	16
4.	Messunger	n im Hallraum	19
4.1.	Messrau	mprüfung nach diversen Klassifizierungen	19
4.	1.1. Equ	ipment	19
4.	1.2. Mes.	sablauf	19
4.	1.3. Mes	sung starten	20
4.	1.4. Aus	wertung	20
4.2.	Schallleis	stungsmessung im Hallraum	25
4.2	2.1. Equ	ipment	25
4.2	2.2. Mes	sablauf	25
4.2	2.3. Mes	sreihenfolge	26
4.2	2.4. Mes.	sung starten	26
4.2	2.5. Aus	wertung	26
4.3.	Absorpti	onsgradmessung im Hallraum	29
4.:	3.1. Equ	ipment	29
4.:	3.2. Mes.	sablauf	29
4.:	3.3. Mes.	sung starten	31
4.:	3.4. Vera	arbeitung und Berechnung	31
4.:	3.5. Aus	wertung	32
5.	Impedanzr	ohr-Messungen	35
5.1.	Akustisch	he Zweitormessung	35
5.1	1.1. Übe	rblick	35
5.1	1.2. Equ	ipment	35
5.	1.3. Mes	saufbau	36
5.1	1.4. Anle	egen eines Projekts, Einpegeln und Kalibrieren	38
5.1	1.5. Mes	sung starten	42
5.1	1.6. Aus	wertung	44

5.1.7.	Erstellen eines Reports	
5.2. A	kustische Dreitormessung	
5.2.1.	Überblick	
5.2.2.	Equipment	
5.2.3.	Messablauf	
5.2.4.	Messung starten	
5.2.5.	Auswertung	
6. Opt	ionale Messungen	
6.1. R	aumeignungsprüfung nach ISO 3745	
6.1.1.	Equipment	
6.1.2.	Messablauf	
6.1.3.	Messreihenfolge	
6.1.4.	Messung starten	53
6.1.5.	Auswertung	53
6.2. H	allraumprüfung nach ISO 3741 Anhang D	56
6.2.1	Equipment	56
6.2.2.	Messablauf	56
6.2.3.	Messung starten	57
6.2.4.	Auswertung	

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 Schallleistung 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 Mehrtoren 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?" am Display. 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.

PAK 5.8	
System Datenerfassung Grafik Audio Nachauswertung Daten-Betrachtung Extras Hilfe	
Projekt: AMT ISO354	Weniger Optionen

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.

Aritimetik: onnte Variabende Grafikdefinition	The second secon
Messdefinition	Projekt-Auswahl
atanhatrachtung	AMT Hallraumprüfungen Setup 3 🔺
	AMT ISO354
	AMT ISO3741 Anhang D
	AMT Schallleistungsmessung =
	GeSA
	GeSA AMT Labor
	Hallraumvermessung
	Nachhallzeitmessung_SinusSweep
	Schalldämnfornrüfstand
	Augustile AMT TOODEA
	Auswam: AMT 150354

Abb. 3 – Symbolleiste und Projektauswahl

	ten Extras Werkzeuge	?		
DC Spei	chern und Schließen 🛛 🔒 🗎			Öffnan der Messdefinitionen
Allge Offnen	5			Official del Messdellindonen
Thema	Hallraumprüfung ISO 354			
Prüfstand	-	Messreihennr.		
Sachbearbeiter	*	Abteilung	*	
Auftraggeber	TU Graz 🔹	Abteilung Ag.	-	Öffnen der
				Messeinstellungen, hier werden
Beschreibungen				Kanaleinstellungen
PAKFahrzeug		2		vorgonommon
				Detalitaren aureanuählt
				Detektoren ausgewahlt
				oder die Kalibrierung
				gestartet.
				000000
				800000
Messuna				
Messung Aktuelles Projekt	AMT 150354		Messeinstellung a IS	0 354 SinusSweep 8Mic 14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung		Messeinstellung g IS Grafikdefinition /1T-L	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10		Messeinstellung g IS Grafikdefinition 4T-L Seite Onli	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10		Messeinstellung g IS Grafikdefinition 4T-L Seite Onli	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10		Messeinstellung g IS Grafikdefinition 4T-L Seite Onli	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10		Messeinstellung g IS Grafikdefinition ит-L Seite Onli Öffn	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10		Messeinstellung g IS Grafikdefinition 4T-L Seite Onli Öffn	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10		Messeinstellung g IS Grafikdefinition 4T-L Seite Onli Öfffn	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec
Messung Aktuelles Projekt Versuchsname Untertitel	AMT ISO354 IR_AMTL_Testmessung Messung_1_10	Ctortor	Messeinstellung g IS Grafikdefinition 4T-L Seite Onli Öffn	0 354_SinusSweep_8Mic_14sec

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).

Messdefinition - Hallraumprüfungen		X	
Datei_Bearbeiten Extras Werkzeuge ?			
🛛 🕜 🚽 Speichern und Schließen 🛛 🔒 🗈 🔌			
Allgemeine Daten			
Thema Hallraumprüfungen			
Prüfstand Messreihennr.			
Sachbearbeiter Abteilung			
Auftraggeber Abteilung Ag.	•	Ξ	
Beschreibungen			
PAKFahrzeug			
Messung	\sim		
Aktuelles Projekt AMT Hallraumprüfungen	Messeinstellung AMT-L/Hallraumprüfungen Setup 3	R	
Versuchsname AMT_Testmessungen	Grafikdefinition AMT-L/Hallraumprüfungen Setup 3		
Untertitel Messreihe-6	Seite Schalldruck 🔻		
			öttereder
Messbereichsermittlung Start Messung			Offnen der
		.48	Messeinstellungen
	Abb. 5 – Öffnen der Messeinstellungen		0

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

Messeinstellung	ı - Hallraumprüfungen Setup 3							
Datei Bearbeiter	n Werkzeuge Extras ?							
🗋 💕 🛃 Speich	ern und Schließen 🛛 🔒 🗈 😤 🕴	•						
Globale Einstellung Definition der Abt V 1 : Luftsc Analyse Zeitrohdaten	1: Me: Kar Abt Ff	Luftscha ssgerät aalkonfig astrate T Zeitblo APS FFT CPS PRS T-Paran	all MKII MKII (Hz] (#8000 Ck () n (Hardware Kanaleinstellungen. Vitel-Oktaven Oktaven Gel-Oktaven 12tel-Oktaven 24stel-Oktaven Dktav-Param	Messpos	itionen	Kalibrierung	
Vorlaufzeit [s]	Keine 💌	1	Detekto	or				
MKII Local Store	age Aktiv	De	tektor-F	Param				
Funrungsparamet	Zaik/Chankhaisana							
Pauer [s]		FAK	Kalibr	ierung				— X
Schrittweite [s]	0.5		atei	Bearbeiten	Extras ?			
Triggerung	Signal-Flanke		Aktiv	Kanal	Ref. 1 [RMS]	Ref. 2	Einheit	Kalibrierfreg. [Hz] Kalil
Triggerkanal	1 ; CH1 ; Schalldruck 🔹	1		1 [CH1]	94		dB	1000 0.04!
Triggerflanke	Steigend 🔻	2		2 [CH2]	94		dB	1000 0.04
Triggerschwelle [P	'a] 0.6	3		3 [CH3]	94	•	dB	1000 0.04
		4		4 [CH4]	94	•	dB	1000 0.04
		5		5 [CH5]	94		dB	1000 0.05
		6		6 [CH6]	94	ł	dB	1000 0.04!
								•
		К	alibrierf	aktor manuel	ll ändern Kalibrie	erung starten	PU-Sensor	-Kalibrierung starten
								OK Abbrecher
		L						

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).

	Aktiv	Kanal	Ref. 1 [RMS]	Ref. 2	Einheit	Kalibrierfreq. [Hz]	Kalibrierfaktor	Kalibrieroffset	Status
L [1	1 [CH1]	94		dB	1000	0.055055407 V/Pa		-
2	1	2 [CH2]	94		dB	1000	0.041312918 V/Pa		-
3	1	3 [CH3]	94		dB	1000	0.046173299 V/Pa		-
4	1	4 [CH4]	94		dB	1000	0.054462604 V/Pa		-
5	1	5 [CH5]	94		dB	1000	0.045980678 V/Pa		-
6	1	6 [CH6]	94		dB	1000	0.049339214 V/Pa		-
7	1	8 [CH8]	94		dB	1000	0.053405606 V/Pa		-
8	1	9 [CH9]	94		dB	1000	0.044428436 V/Pa		-

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

Gr	afikausga	abe - Variable Vo	orlage - Calibrati	ion.de.vas_dly	-									X
Date	i Ansich	ht Blatt Diag	ramm Achse	Cursor Extra	as ?									
Eleni				h L My E Anha						• ແມ ແມ	_ 02 (2) [10 [2]			×0
1 (M)	Cursor		小好片派	IM C Achs	e x 👻 Lin	▼ Auto ▼	Von: AUTO	▼ Bis:	AUTO Y H HE	🛱 🖳 🤐 Diagramm	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •		📾 👽 Gro	ове 🔻
1 H	뚵 🔏 🗄	Seite Online 🔻	ê 🗟		🗆 🔻 🗲 🦈	° ≫ @ → / + •	👫 🔻 🕴 Mess-Kanal: 💌 🔤 1 ; C	CH1 S ; S	challdruck 👻 🕈 📅 🦘 🤫	<pre></pre>	8880		» 🕨	» 🛃 »
			<u>Ka</u>	librierun	ig von M	esskanäle	<u>n</u>		-80	steuerungsanzeige -60 -4	40 -20	0		
		APS Kanal	1 CH1				Referenze 94 dB(RMS) @10	signal 00Hz	-1	_		*		
	<u>က</u> 1	140					Kalibrierfaktor b	oisher.						
	RM						0.0457676	V/Pa						
	1	130												
	1	120												
	1	110												
	1	100												
		90												
		80												
		70												
		60												
		0	5	000	10	000	15000 Frequer	ız (Hz)		•		~		
									•			F		
										Ch1-Ch1				
									I→	+ 💥				
1 . ve.	0.0 [11-1		V1. 50.0 [d0	Unline	71. 0.0.[-	1	//)	
, XI:	0.0 [H2]		TI: 53.3 [UB	(iiii))	21: 0.0 [s	1						-		1 577
BAK M	essleiste											- all area		25
Kalibr	ierung (NO	ORMAL]				Mittelung [Linear]			Messzeit	00:00:00		Systemlast:	3%	
Sollw	ert		0.00			Anzahl	20							
Aktue	lier Wert		0.00			Aktuell	U			_			•	
Kalibr	ierung akti	iv - Bitte Signal an	Kanal 1 anlegen						Start	Pau	ISE		Stop	

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.

The Graficauceaba Variable Verlage Calibration do use div				_ 0 X
Chankausgabe - Variable Voriage - Calibration.de.vas_ory				
Datei Ansicht Blatt Diagramm Achse Cursor Extr			mm	
[제: Cursor	se X • Lin • Auto • H • Von: AUTO	• BIS: AUTO • A At MI H	🕒 🔛 Diagramm 🔻 🔀 🕾 🔜	🚏 🖼 🖾 🔂 Größe 🔻
🗶 🗶 Seite Online 🔹 🔒 🔒	💷 🔻 🖸 🕈 🖤 🦃 🕎 🔻 🗚 🗛 🔻 Mess-Kanal: 🔻 8 ;	CH8 S ; Schalldruck 👻 🕏 🛱 🕇 ୟ	* & < > > * * * * *	7 🖹 📩 🔹 🕨 🕨 🛃 🐱
Kalibrierur	ng von Messkanälen	-80	issteuerungsanzeige -60 -40	-20 0
← 140 ^{APS} Kanal 8 CH8	Referen. 94 dB(RMS) @1	signal 000Hz	3—	^
g 130	Kalibrierfaktor 0.0529739 0.048642	v/Pa Neu- V/Pa		
120	PAK Main			
110	Ergebnis Kalibrierung			
100	Kanal Kalibrierfaktor alt Kalibrierfaktor neu Unterschied 8 0.05297392 0.04864200 -0.74 dB			
100				
90				
80				
70				
70				
60				
0 5000				*
	Sollen die neuen Kalibrierfaktoren in die Messeinstellung übernomme	n werden?		Þ
	OK	Abbrechen	Ch8-Ch8	
Oplin			* 🗎	
X1: 0.0 [Hz] Y1: 73.9 [dB(lin)]	Z1: 1.066667 [s]			
Messleiste				
Kalibrierung [NORMAL]	Mittelung [Linear]	Messzeit	00:00:01	Systemlast: 3%
Sollwert 1.07	Anzahl 20			
Aktueller Wert 1.02	Aktuell 0			
Kalibrierung beendet!		Neustart	Pause	Stop

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).

Messeinstellur	ng - Hallraumpr	üfungen				_ 0	23	
Datei Bearbeit	on Mark toug	Extras ?						
🗋 💕 📢 Speid	hern und Schließ	en 🔰 🗈 🖪 🛝						
Globale Einstellun	gen		1: Luftschall					
Definition der Ab	itastgruppen		Messgerät MKII	- Hardward	2			
⊻ I : Lufts	schall	Kanäle 116	Kanalkonfiguration	Kanaleinstellunger	Messpositionen	Kalibrierung		
			Abtastrate [Hz] 48000					
			FFT	Ntel-Oktaven				
			Zeitblock	V Oktaven				
			APS	V Terzen				
			FFT	6tel-Oktaven				
			CPS	12tel-Oktaven				
			PRS	24stel-Oktaven				
Analyse	Online	•	FFT-Param	Oktav-Param				
Zeitrohdaten	Speichern	•	Dataktar					
Vorlaufzeit [s]	Keine	-	Detektor					
MKII Local Sto	orage Aktiv	Kalibrierung	Constant Constant					×
Funrungsparam	Ster .	Datei Bearbeiter	Extras ?					
Funrung	Zeit	Alttin Kanal	Pof 1 (PMC) Pof 2	Finhoit	Kalibriadrag (Hz) - K	alibriarfaktor	Kalibrioroffset	Status
Dauer [s]	60		Rei. 1 [Rivi5] Rei. 2	. Ennier	Kalibherneg, [Hz]		Kalibrieronsec	Status
Schrittweite [s]	0.5		94	dB	10000.	.046217942 V/Pa		-
		2 V 2 [MIC2]	94	dB	10000.	.049092474 V/Pa		-
		3 V 3 [MIC3]	94	dB	10000.	.044222596 V/Pa		-
		4 4 [MIC4]	94	dB	10000.	.041361825 V/Pa		-
		5 5 [MIC5]	94	dB.	10000.	.055698276 V/Pa		-
		6 V 6 [MIC6]	94	dB dB	1000 0.	.053697366 V/Pa		-
		7 7 [Mic/]	94	dB	1000 0.	.044605083 V/Pa		-
		8 [V]8 [Mic8]	94	ав	1000 0.	.0490243/3 V/Pa		-
		1						
		Kalibrierfaktor manue	ell ändern	PU-Sensor-I	Kalibrierung starten			
							0	K Abbrechen
		1						

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
Маве	Länge: $5,12 - 5,65m$ Breite: $4,06 - 4,96m$ Raumhöhe: $2,85 - 3,29m$ Volumen = $73m^3$

Abb. 15 - Daten des Freifeldraumes



Abb. 16 – Grundriss Freifeldraum



Abb. 17 – Aufriss Freifeldraum

2.2.2. Hallraum der TU-Graz



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

	Hallraum TU-Graz
Маве	Länge: 8,34m Breite: 5,99m Raumhöhe: 4,90m Volumen = 244m ³

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 Schallleistung 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 Schallleistung 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. Schallleistungsmessung 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.



Zum Starten des Messsystems und der PAK Software siehe Kapitel 2.1. Wir verwenden das Projekt "AMT RaR Schallleistung" und die Messdefinition "Schallleistungsmessung 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).

Messeinstellung	AMT-L/Hallraumpri	üfungen Setup 3	<u> </u>
Grafikdefinition	AMT-L/Hailraumpri	üfungen Setup 3 🛛	
Seite	Schalldruck	•	\smile

	Datendefinition (Info)	
	1/3-Oktave;[AMT-L/SchallleistungISO3744.pak_var/AMT-L/Schallleistung/ISO3744Scha	allleistungQuade
	1/3-Oktave;[AMT-L/SchallleistungISO3744.pak_var/AMT-L/Schallleistung/ISO3744K	2Quader.pak_for
	1/3-Oktave ; [Emty.pak_var / AMT-L/Schallleistung/ISO 3744 K2 Grenzwert 4	dB.pak_for]
	1/3-Oktave ; [Emty.pak_var / AMT-L/Schallleistung/ISO 3746 K2 Grenzwert 70	dB.pak_for]
	1/3-Oktave;[AMT-L/SchallleistungISO3744.pak_var/AMT-L/Schallleistung/ISO3746Scha	allleistungQuade
	1/3-Oktave;[AMT-L/SchallleistungISO3744.pak_var/AMT-L/Schallleistung/ISO3746K3	2Quader.pak_for
Datendefi	inition zu Nr 1 (ARITHMETIK)	X
- Variablen	Darstellung/Filter Führungs-Parameter Skalen-Definition Gesamtnegel	0
ranabran	Durblending i funding i undineter Durblen Dennitori	
Definition der	r Berechnung	
Definition der	r Berechnung	-
Definition der Variablen 1T-	r Berechnung	1
Definition der Variablen 1T-	r Berechnung -L/Schallleistung IS03744.pak_var 😰 Formel 13744 Schallleistung Quader.pak_for 😰]
Definition der Variablen 1T-I	-L/Schallleistung IS03744.pak_var 😰 Formel + 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰]
Definition der Variablen 17-1	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel i 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰]
Definition der Variablen 1T-I Freie Formel	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel + 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter]
Definition der Variablen 1T-I Freie Formelj Messfläche	Perechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel) 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter 20 V Parameter %b]
Definition der Variablen 17-1 Freie Formelj Messfläche	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 20 Formel → 3744 Schallleistung Quader.pak_for 20 Iparameter 20 • Parameter %b • •]
Definition der Variablen (TT-) Freie Formel Messfläche	r Berechnung L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel 🕴 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter 20 V Parameter %b V Parameter %b V Parameter %d V]
Definition der Variablen (T-I Freie Formelp Messfläche Darameter %	Parameter 20 Parameter %b Param]
Definition der Variablen (T- Freie Formelg Messfläche Parameter % Parameter %	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel 🕯 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😂 Iparameter 20 V Parameter %b V Parameter %d V Parameter %f V g V Parameter %h V	
Definition der Variablen (T Freie Formely Messfläche Parameter % Parameter % Platzhalter fü	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel i 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter 20 V Parameter %b V Parameter %d V Parameter %d V Parameter %d V Parameter %h V In Messdaten	
Definition der Variablen (T-I Freie Formelj Messfläche Parameter % Parameter % Platzhalter fü	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var r Parameter %b Parameter %b Parameter %b Parameter %d Parameter %d	
Definition der Variablen (T-I Freie Formel Messfläche Derameter % Parameter % Platzhalter fü Messungsnam	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter 20 V Parameter %b Parameter %b Parameter %b Parameter %f Wessdaten ne	
Definition der Variablen (T-I Freie Formelp Messfläche Darameter % Parameter % Platzhalter fü Messungsnarr	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel + 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter 20 V Parameter %b V Parameter %b V Pa]
Definition der Variablen 1T-1 Freie Formelg Messfläche Parameter % Parameter % Platzhalter fü Messungsnam	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 parameter 20 V Parameter %b Parameter %d Parameter %d v Parameter %f v Parameter %h v r me v Messdaten me	
Definition der Variablen 1T- Freie Formelj Messfläche Parameter % Platzhalter fü Messungsnam	r Berechnung -L/Schallleistung IS03744.pak_var ເ≧ Formel 3744 Schallleistung Quader.pak_for ເ≧ Iparameter 20 ♥ Parameter %b Parameter %b Parameter %d v Parameter %f se v Parameter %h v Parameter %h v Parameter %h v Parameter %h v Parameter %h v Parameter %h	
Definition der Variablen (T- Freie Formely Messfläche Parameter %/ Platzhalter fü Messungsnarr Kopieren	r Berechung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var -L/Schallleistung ISO3744.pak_var -L/Schallleistung ISO3744.pak_var	
Definition der Variablen 17- Freie Formely Messfläche Parameter % Platzhalter fü Messungsnarr Kopieren	r Berechnung -L/Schallleistung ISO3744.pak_var 😰 Formel 3744 Schallleistung Quader.pak_for 😰 Iparameter 20 V Parameter %b Parameter %b Parameter %d Parameter %f V Parameter %h V Parameter %h V Einträge kopieren)
Definition der Variablen (T- Freie Formely Messfläche Parameter % Platzhalter fü Messungsnarr Kopieren	r BerechnungL/Schallleistung ISO3744.pak_var	

Abb. 22 – Eingabe freier Formelparameter (Schallleistung RaR)

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

• Schallleistung → Datendefinition

ISO3744SchallleistungQuader ISO3744K2Quader ISO3746SchallleistungQuader ISO3746K2Quader



Beschreibung
Aktueller Schalldruck während der Messung
Aktueller Schalldruckpegel in Terzauflösung während der Messung oder Anzeige der letzten Messung
Berechnung der Schallleistungspegel in Terzauflösung nach Norm ISO 3744 und ISO 3746 mit den Grenzwerten für die Fignung des Bröfraumes, Hier müssen freie Formelnarameter eingegeben worden.
A A B E

Schalldruck	\Schalldruckpegel/	\ Schallleistung /

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.





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):

Messeinstellung	AMT-L/Hallraumpri	ifungen Setup 3	
Grafikdefinition	AMT-L/Hallraumprü	ifungen Setup 3	
Seite	Schalldruck	•	\sim
Abb. 26 – Č	Öffnen der Grafikdefin	ition aus der Mess	definition

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

		Datendefinitio	n (Info)			
		<	1/3-0kt	ave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_v	ar / AMT-L/Setup 3/ISO 3743-2 Lp.pak_for]	
			<1/.	3-Oktave ; Lenny, pak_var / AMT-L/Sec	up 3/150 3/43-2 Grenzwerte.pak_for]>	
			1/3-0	ktave ; [Emty.pak_var / AMT-L/Setup	3/ISO 3743-2 obere Grenzwerte.pak_for]	
			1/3-0	ktave;[Emty.pak_var / AMT-L/Setup 3	3/ISO 3743-2 untere Grenzwerte.pak_for]	
			1/3-Oktave ;	[Emty.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3	3743-2 Grenzwert Standardabweichung.pak	_for]
			1/3-Oktave ; [AM	T-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-	L/Setup 3/ISO 3743-2 Standardabweichung	.pak_for]
Datendefinit	tion zu Nr 1 (A	ARITHMETIK)				
- Variablen D) arstellung/Filte	r Führungs-Para	ameter Skale	n-Definition Gesamtpegel	0	
Definition der B	erechnuna	, i i i i i i i i i i i i i i i i i i i		essenties.		
ariablen AMT	L/Unlingues Cot	un 2 nati une	Eormol	AT L/Cotup 2/ICO 2742 2 Lp pok for		
anabien AMT-	-L/Hallraum Set	up 3.pak_var	Former	11-L/Setup 3/150 3743-2 Lp.pak_for		
Freie Formelpa	rameter					
/olumen	70	•	T1000	2.5 🔻		
Parameter %c		*	Parameter %d	•		
Parameter %e		*	Parameter %f	•		
Parameter %g		*	Parameter %h	•		
Platzhalter für N	Messdaten					
Messungsname			2	2		
Kopieren	Einträge kopi	ieren				
	11. June					
urücksetzen				Ok Abbrech	en Grafikausgabe	
		<u> </u>				
						-
Schalldruck	pegel Mic 5-8	JISO 3741	Anh C	ISO 3741 Kap 8.4.2	ISO 3743-1 ISO 37	43-2

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 m³
- T1000 ... Nachhallzeit bei 1000Hz in Sekunden

		Oktave ; [AMT-L/Hall Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set _var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747 up 3/ISO 3747	<pre>/ - Mic1.pak_for] / - Mic2.pak_for]</pre>
		Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747	7 - Mic3.pak_for]
		Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747	7 - Mic4.pak_for]
		Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747	7 - Mic5.pak_for]
		Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747	7 - Mic6.pak_for]
		Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747	7 - Mic7.pak_for]
		Oktave ; [AMT-L/Hall	raum Setup 3.pak	_var / AMT-L/Set	up 3/ISO 3747	7 - Mic8.pak_for]
					1	
Datendefinition zu Nr 2 (A	RITHMETIK)					
Variablen Darstellung/Filte	Führungs	-Parameter Skal	en-Definition	Gesamtpegel		0
Definition der Berechnung				15		
Variablen AMT-I /Hallraum Set	un 3 nak var	Formel	-I /Setup 3/ISO	3747 - Mic1 nak	for 🕞	
Variablen AMT-L/Hallraum Set	up 3.pak_var	📔 Formel	-L/Setup 3/ISO	3747 - Mic1.pak_	for 🜈	
Variablen AMT-L/Hallraum Set	up 3.pak_var	Generation Formel	r-L/Setup 3/ISO	3747 - Mic1.pak_	for 🜈	
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon	up 3.pak_var	Formel	F-L/Setup 3/ISO	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for 🜈	- I
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c	up 3.pak_var 1 96	Formel	F-L/Setup 3/ISO	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for 😰	▼
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e	up 3.pak_var 1 96	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %f	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for 😰	•
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g	up 3.pak_var	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %f Parameter %h	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for <u> ()</u>	•
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g Platzhalter für Messdaten	1 96	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %f Parameter %h	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for <u> ()</u>	• • •
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g Platzhalter für Messdaten Messungsname	up 3.pak_var	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %f Parameter %h	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for <u> ()</u>	•
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g Platzhalter für Messdaten Messungsname	1 96	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %h Parameter %h	3747 - Mic1.pak_	for 😰	• • •
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g Platzhalter für Messdaten Messungsname	1 96	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %h	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for <u> ()</u>	
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g Platzhalter für Messdaten Messungsname Kopieren Einträge kopi	96 eren	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %h	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for <u> ()</u>	
Variablen AMT-L/Hallraum Set Freie Formelparameter Abstand Schallquelle - Mikrofon Parameter %c Parameter %e Parameter %g Platzhalter für Messdaten Messungsname Kopieren Einträge kopi Zurücksetzen	up 3.pak_var	Formel	F-L/Setup 3/ISO Lw Parameter %d Parameter %h	3747 - Mic1.pak_ 91.6	for 💕	▼ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

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

	Datendefinition (Info)
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic1 - Terzen.pak_fc
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic2 - Terzen.pak_fo
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic3 - Terzen.pak_fo
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic4 - Terzen.pak_fo
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic5 - Terzen.pak_fo
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic6 - Terzen.pak_fo
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic7 - Terzen.pak_fo
	1/3-Oktave ; [AMT-L/Hallraum Setup 3.pak_var / AMT-L/Setup 3/ISO 3747 - Mic8 - Terzen.pak_fo
Datendefinit	ion zu Nr 2 (ARITHMETIK)
/ariablon D	Desetellung/Filter Führunge Desemeter Skalen Definition Cospetencel
Definition dan D	arstellung/Filter Fuhrungs-Parameter Skalen-Delimition Gesampegel
Definition der Be	
ariablen AMT-	·L/Hallraum Setup 3.pak_var 📓 Formel 3/ISO 3747 - Mic1 - Terzen.pak_for 📓
Freie Formelpar	rameter
bstand Schallg	uelle - Mikrofon 1 Varameter %b
arameter %	Parameter %d
arameter %e	▼ Parameter %f
arameter %g	Parameter %h
Platzhalter für N	Messdaten
lessungsname	
5	
	Finträne konjeren
Kopieren	
Kopieren	
Kopieren Irücksetzen	Ok Abbrechen Grafikausgabe
Kopieren Jrücksetzen	Ok Abbrechen Grafikausgabe
Kopieren ırücksetzen	Ok Abbrechen Grafikausgabe
Kopieren urücksetzen	Ok Abbrechen Grafikausgabe
Kopieren Jrücksetzen	Ok Abbrechen Grafikausgabe
Kopieren Jrücksetzen	Ok Abbrechen Grafikausgabe

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

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

• Abstand des jeweiligen Mikrofons zur Schallquelle in m

Karteireiter	Beschreibung
Schalldruck	Aktueller Schalldruck während der Messung
Schalldruckpegel Mic 1 – 8 (aktuell)	Aktueller Schalldruckpegel in Terzauflösung und Summenpegel während der Messung
Schalldruckpegel Mic 1 – 8 (archiv)	oder Anzeige bereits gemessener Daten
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.

Schalldruck	/ Schalldruckpegel Mic 1-4 / Schalldruckpegel Mic 5-8 /	ISO 3741 Anh C	/\ISO 3741 Kap 8.4.2 _/\	ISO 3743-1	/\ISO 3743-2	ISO 3747 Summenpegel	ISO 3747 Terzen

Abb. 30 – Überblick über die Karteireiter

4.2. Schallleistungsmessung 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 Schallleistungsmessung" und die Messdefinition "Schallleistungsmessung 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 "Schallleistung" müssen folgende freie Formelparameter eingegeben werden:

- Datendefinition ISO 3743-2 (siehe Abb. 32)
 - Volumen ... Raumvolumen in m³
 - o T1000 ... Nachhallzeit bei 1000Hz in Sekunden
- Datendefinition ISO 3741 (siehe Abb. 33)
 - Äquivalente Absorptionsfläche in m²
 - o Raumoberfläche in m²
 - Raumvolumen in m³
 - Temperatur in °C
 - Atmosphärischer Druck in Pa

1/3-0kt	ave;[Schalleistungs	messung.pak_va	r/AMT-L/Schalllei	stung/ISO3743	-1Schallleistung.p	ak_for]
1/3-Okta	ve ; [Schalleistungs	messung.pak_va	r / AMT-L/Schalll	eistung/ISO 37	47 Schallleistung.	pak_for]
1/3-Okta	ve ; [Schalleistungs	messung.pak_va	r / AMT-L/Schalll	eistung/ISO 37	41 Schallleistung.	pak_for]
M Datendefin	ition zu Nr 1 (AR	ITHMETIK)				
Variablen	Darstellung/Filter	Führungs-Par	ameter Skal	en-Definition	Gesamtpegel	
Definition der	Berechnung					
Variablen Sch	nalleistungsmessung	g.pak_var	Formel	g/ISO 3743-2	Schallleistung.pa	k_for 道
Freie Formelp	arameter					
Volumen	200	•	T1000	2.5		-
Parameter %c	200	*	Parameter %d	LID		T
Parameter %e	2	×	Parameter %f			*
Parameter %n			Parameter %h			*
Distriction für	Magadatan		fuluineer for			
Platzilaiter für	Messualen		10	ন		
Messungsnam	e					
[
Kopieren	Einträge kopier	en				
Zurücksetzen					Ok A	hrechen Cra
Zulucksetzeli						

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

1/3-Oktav	e;[Schalleistung	smessung.pak_var/AMT-L/Sch	hallleis	tung/ISO3743-2Sc	hallleistund	.pak_for]	
1/3-0ktav	/e:[Schalleistung	messung.pak_var/AMT-L/Sch	hallleis	tung/ISO3743-1Sc	hallleistund	.pak for]	
1/3-Oktave	e ; [Schalleistung	smessung.pak_var / AMT-L/S	challle	istung/ISO 3747 S	- challleistun	g.pak_for]	
1/3-0ktave	e ; [Schalleistung	smessung.pak_var / AMT-L/S	challle	istung/ISO 3741 S	challleistun	g.pak_for]	>
_			_				
Datendefi	nition zu Nr 4 (ARITHMETIK)					
Variablen	Darstellung/Filte	r Führungs-Parameter	Ska	len-Definition	Gesamtpe	gel	(
Definition der	Berechnung						
Variablen Sc	halleistungsmess	ung.pak_var 🛛 🚰 📖	Forme	I ung/ISO 3741 So	hallleistun	g.pak_for 📔	<i>i</i>)
Freie Formel	parameter						1
äquivalente A	bsorptionsfläche	5	•	Raumoberfläche	190		-
Raumvolumer	1	200	•	Temperatur	28		•
atmosphärisc	ner Druck in Pa	101300	-	Parameter %f			-
Parameter %	9		•	Parameter %h	-		-
Platzhalter fü	r Messdaten				0		
Messungsnam	ne		_	68			
neosungsnun							
4							
8							
Kopieren	Einträge kop	ieren					
Kopieren	Einträge kop	ieren					

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

Karteireiter	Beschreibung
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.

Schalldruck	Schalldruckpegel	Schallleistung /

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.

Messeinstellung	g ISO 354_SinusSweep_8Mic_14sec	
Grafikdefinition	4T-L/Hallraumprüfung ISO 354_8Mic	
Seite	Online 👻	

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

	Datendefinition zu Nr 1 (ARITH) Darstellung/Filter Führungs-Parar Definition der Berechnung Variablen Emty-pak_var	METIK) neter Skalen-Definition V	priablen	
	Freie Formelparameter	· Second St.		2.) Formel
System_Win7 (C:) Benutze	r ▶ PAK ▶ PakData ▶ Tables ▶ Arithmetic ▶ For	mulas 🕨 👻	Formulas durchs	auswählen
Organisieren 🔹 🦪 Öffnen 👻 Freigel	ben für Brennen Neuer Ordner	Änderungsdatum	Tvp	Größe
Favoriten		244220454054	1)P	
Zuletzt besucht	Absorptionsgrad.pak_tor	04.12.2015 10:54	PAK_FOR-Date	
Downloads	Export_mitProbe_Q1.pak_tor	20.07.2015 12:10	PAK_FOR-Datei	3
DATA	Export_mitPrope_Q2.pak_tor	20.07.2015 12:09	PAK_FOR-Date	3
- Shirt	Export_onnerrobe_Q1.pak_for	20.07.2015 11:39	PAK_FOR-Datel	3
Sibliotheken	Export_onneProbe_Q2.pak_for	20.07.2015 11:39	PAK_FOR-Date	3
Bilder	rn_Hairaum_Pruetung.pak_for	12.12.2015 14:23	PAK_FUK-Datel	2 -
	 Fn_iNacnnaiimessung_8Mic.pak_for Image: Image: Image:	II.12.2015 10:36	PAK_FOK-Datei	2 * L
 Desktop Zuletzt besucht Downloads DATA 	Absorptionsgrad,pak_for Export_mitProbe_Q1,pak_for Export_mitProbe_Q2,pak_for Export_ohneProbe_Q1,pak_for Export_ohneProbe_Q2,pak_for	04.12.2015 10:54 20.07.2015 12:10 20.07.2015 12:09 20.07.2015 11:39 20.07.2015 11:39	PAK_FOR-Datei PAK_FOR-Datei PAK_FOR-Datei PAK_FOR-Datei PAK_FOR-Datei	7 🗐 3 3 3 3 3

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 m³
- Dämpfungskoeffizient m1 (nach ISO 9613-1 ohne Probe)
- Dämpfungskoeffizient m2 (nach ISO 9613-1 mit Probe)
- Raumtemperatur t1 in °C (ohne Probe)
- Raumtemperatur t2 in °C (mit Probe)
- Fläche der Probe in m²

Datendefinition zu Ni	1 (ARITHMETIK)		X	
′ariablen Darstellung,	/Filter Führungs-Parameter	Skalen-Definition	0	
Definition der Berechnung				
Variablen Emty.pak_var	😂 F	ormel d Hallraum/Absorptio	onsgrad.pak_for 📴	
Freie Formelparameter				
taumvolumen	70 💌	Dämpfungskoeffizient m1	0.001	
ämpfungskoeffizient m2	0.001 💌	Raumtemperatur t1	28 👻	
Raumtemperatur t2	28 💌	Fläche der Probe	5 🔹	
Parameter ‰g		Parameter %n		
Platzhalter für Messdaten				
Messungsname Jakob/Stu	udio_Aufnahmeraum/VIZ0,2-5s-6s_:	1		
Kopieren Einträge	e kopieren			
urücksetzen		0	k Abbrechen Grafikausgabe	e

Abb. 39 – Eingabe freier Formelparameter – Karteireiter Absorptionsgrad

Karteireiter	Beschreibung
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.

Absorptionsgrad /

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):

zusätzlich

-Reflexionsfaktor / Reflexionsgrad
-Absorptionsgrad f
ür senkrechten oder diffusen Schalleinfall
-Wandimpedanz / Wandadmittanz

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

Datei	Voreinstellunger	n Report
Pro	jekt neu / öffnen	
CA	TS8 beenden	Strg+Q
INPI		U



 Report
 Info

 Report neu
 Strg+R

 Report auswählen / erweitern
 Strg+A

 Report ... erweitern
 Strg+E

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* \rightarrow *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* \rightarrow *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 Einund Ausgänge des Leistungsverstärkers nicht übersteuert werden. Eingangsseitig ist darauf zu achten, dass der A/D Wandler nicht übersteuert wird. DasEinpegeln 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 \Rightarrow Einpegeln". Es öffnet sich ein Fenster mit den einzustellenden Sollwerten zum Einpegeln (siehe Abb. 45).

🛃 CATS8_pegel	
Einpegeln	
1. Einpegeln des Ausgangssignals: Ein 50Hz Sinussignal mit digitaler Amplitude ±1 wird generiert. Mittels des Soundkartenmixers ist die Ausgangsamplitude auf den zulässigen Eingangspegel des Leistungsverstärkers anzupassen. Die Wiedergabe- lautstärke für ausreichende Anregung ist am Leistungsverstärker einzustellen, die Kontrolle erfolgt über ein Voltmeter. (Für RME Fireface 400 OUT auf 0 dB und AN auf -13 dB> 0,7 ∨ für Parasound IN> 0,3 ∨ am Parasound 0UT)	2
Dauer 30 [s] Sinus	
2. Einpegeln des Eingangssignals: Ein Rauschsignal mit digitaler Amplitude ±1 wird generiert, Die Eingangsempfindlichkeit der Mikrofonvorverstärker ist einzustellen, so dass eine verzerrungsfreie Aufnahme stattfinden kann. Die Kontrolle erfolgt über die Pegelanzeige Ihrer Audiokarte. (RME Fireface 400: IN auf ca15 dB)	
Dauer 30 [s] Rauschen	
Pegel an den Eingängen: Maximalamplitude an den Eingängen in [dBFS] der letzten 3 Sekunden	
Mic. A Mic. B Mic. C Mic. D	
fertig	

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 ± 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 ± 1 generiert und ausgespielt. Die Mikrofonvorverstärker sind so einzustellen, dass eine verzerrungsfreie Aufnahme stattfinden kann. Die Kontrolle erfolgt über den Soundkartenmixer.



Abb. 47 – Einpegeln des Eingangssignals

<u>Kalibrieren</u>

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:

- *Methode:* 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 !

🛃 1. Mess	ung: Kalibrieren 1/3 💦 📕	
?	Mikrofone in Folge BADC bringe	en !
	Abbrechen OK	

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:

Projektname		Dateiname			
28_11_Kalibrierprobe_M	IHS_100_W_K_2	Akustikschaum_sch	nwarz_040mm000L_4K3	R_02.CAT	
Kommentar zum Projekt		- 4-MicKalibrierfunk	ction ist älter als 1T 21h	- evtl. neu kalibrieren	
		Alibrierprobe_Mel	aminharzschaum_weiss	_100mm000L_4KR_	01.KQ4
		- Messeinstellunger	n		
		Methode	Mikrofonabstand	Messsignal	Kalibrierung
Kommentar zur Messung	1	4 Mkroton 💌	kurz 💌	Rauschen 😽	vorhanden 💌
	1	Sampling [Hz]-	Blockanzahi	Blocklänge [2'm]	Messzeit [s]
		44100	25	14	40.6
		-Resampling [Hz]	- ob. Grenzfr. [Hz]-	-FFT-Länge [2'n]-	
		11025	2000	14	WAVs speiche
Ort der Messung	Prüfstelle	Material			
U Graz, Zentrallabor	CATS8 Testing Team	Akustikschaum_schw	varz		
Schallquelle	Mikrofone	Mat.stärke [mm]-	sim. Mat.stärke (mm)	sim. Luftp. [mm]	forti. Nr
visaton W100S	AKG C480 + CK 62ULS	040	040 5	000	02
Soundkarte	Vorverstärker	Temperatur [°C]-	Luftfeuchte [r.%]-	Datum	Uhrzeit
RME FireFace 800	Parasound HCA-800 II	21	50	2009-11-30	14:56:46
Prüfer					
ıfartin Denda					

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							
А	Diagrammanzeige, Darstellung der Messergebnisse							
В	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.							
С	Auswahl der anzuzeigenden akustischen Parameter, abhängig von der							
	durchgeführten Messmethode							
D	Einstellungen zur Anzeige							
	Kombinieren							
	Simulationen (Unterschiedliche Stärken eines beliebigen Absorbers							
	bestimmen)							
	Schichtung							

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 geschalten 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 Checkboxen verändert werden. Der Dateiname des Absorbers wird automatisch um die eingegeben 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* \rightarrow *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 P1, P2 und P3 bekannt so können mit P1 als Referenz verschiedene Schlauchkennwerte definiert, sowie über eine Leistungsbilanz der in der Schlauchwand absorbierte Leistungsanteil P4 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).

Karteireiter	Beschreibung
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 Gewebeschlauch)
FFT aussen LS1 (M7 – M14)	FFT der Mikrofone auf der Hüllfläche um den Gewebeschlauch (Anregung vom 1. Lautsprecher) (40Hz – 3kHz)
Leistungsbilanz	Gemessene Schallleistungen (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)
SWK4	Verhältnis (P1/P4)
SKW5	(TL + SKW3)/2
Matlab Export	Über diesen Button werden die Zeitrohdaten an Matlab exportiert und der TL berechnet.

Zeitsignale innen (M1 bis	M6) / FF	T innen LS	1 (M1 bis M6	N	Zeitsignale aussen (M)	7 bis M14) /\	FFT auss	sen LS1 (M7 bis M	114)	Leistungsbilanz
SKW-Übersicht	TL		SKW2			SKW4	Л	SKW5	Λ	Matlab-Export /

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	IT-L/RaR Eignungsprüfung ISO 3745 📔
Versuchsname	Testmessung	2	Grafikdefinition	AMT-L/RaR Eignungsprüfung
Untertitel	Messung_4	2	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).

	Variable	Messungsname				Info			
1	m1p1	(1.) Letzte Messungen	.) Letzte Messungen						
2	m2p1	(1.) Letzte Messungen		er worden die Messdaten in					
3	m3p1	(1.) Letzte Messungen	HI	er werden die Messdaten in					
4	m4p1	(1.) Letzte Messungen	va	Inablen gespeichert, wobei					
5	m5p1	(1.) Letzte Messungen		immer die letzte Messung belegen. Werden z.B. nur 4 Bahnen vermessen, so bleiben					
6	m6p1	(1.) Letzte Messungen	Im						
7	m7p1	(1.) Letzte Messungen	be						
8	m8p1	(1.) Letzte Messungen	Ba			6			
9			die	e Variablen von Bahn 5 (p5)					
10	m1p2	(2.) Letzte Messungen	un	igenutzt.					
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							

Abb. 58 – Messdaten mehrerer Messreihen werden zwischengespeichert



Abstand r

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

Grafik-Definition - RaR Eignungsprüfung (Messpfad 1) Datei Bearbeiten Werkzeuge Extras ? Datei Bearbeiten und Schließen II IVorlage Fest	ivieren weiterer Messu	Ingen (7,8,9)	▼Zusatztext	2.) Öffnen der Datendefinition. Die Ziffer am Ende steht für die Mittenfrequenz des
Aktiv Diagr. Kurve Linientyp Messungsname	Datendefinition (Info)			Terzbandes, von weicher die
	Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPr	üfungISO37458Mic.pak_var/AMT-L/R	aREignungsprüfungISO3745/path1_1000_8mic.pa	Schalldruckabnahme
2 1 2 ARITHMETIK	Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPi	rüfungISO3745.pak_var/AMT-L/RaRE	ignungsprüfungISO3745/obererGrenzwert.pak_fo	betrachtet wird. Es muss nur
3 1 3 RITHMETIK	Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRP	rüfungISO3745.pak_var/AMT-L/RaRE	ignungsprüfungISO3745/untererGrenzwert.pak_f	
4 1 4 ARITHMETIK	Zeitrohdaten;[AMT-L/Raf	RPrüfungISO3745.pak_var/AMT-L/Ra	REignungsprüfungISO3745/Grenzwert.pak_for	die Nr. 7 bearbeitet werden.
5 1 ARITHMETIK	Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPr	üfungISO37458Mic.pak_var/AMT-L/R	aREignungsprüfungISO3745/path1_502_8mic.pak	
6 ARITHMETIK	Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPr	üfungISO37458Mic.pak_var/AMT-L/R	aREignungsprüfungISO3745/page 8000_8mic.pa	
7 1 7 ARITHMETIK	Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPr	üfungISO3745freieMessung.pak_var,	AMT-L/RaREignungsprüfungISO3745/path1_500_>	
8 1 8 ARITHMETIK	<zeitrohdaten;[amt-l rarpr<="" td=""><td>utungISO3745treieMessung.pak_var</td><td>AMI-L/RaREignungsprüfungISO3745/path1_1000></td><td></td></zeitrohdaten;[amt-l>	utungISO3745treieMessung.pak_var	AMI-L/RaREignungsprüfungISO3745/path1_1000>	
9 1 9 ARITHMETIK	<zeitrohdaten;[amt-l rarpr<="" td=""><td>üfungISO3745freieMessung.pak_var,</td><td>AMT-L/RaREignungsprüfungISO3745/path1_8000></td><td></td></zeitrohdaten;[amt-l>	üfungISO3745freieMessung.pak_var,	AMT-L/RaREignungsprüfungISO3745/path1_8000>	
10				3.) Öffnen der
11 Arithmetikfenster -		4.) "Öffnen" un	1	Variablen
12 Datei Bearbeiten Werkzeuge ?		Mossdaton für	Variablen Darstellung/Filter Führungs-F	Parameter ka Valiabieli 2
13 🔲 🗋 🚰 💭 Speichern und Schließen 🚽 🐚 遇		INIESSUALEIT IUI	Definition der Berechnung	
14 Variablen: AMT-L/RaR Prüfung ISO 3745 freie Messung.pak var Formel:	AMT-L/RaR Eignungsprüfung ISO 3745/path1 5	Variablen 1 – 8	ZU Variablen ing ISO 3745 freie Messung.pak_var	🖉 Formel ISO 3745/path1_500_8mic.pak_for 🖉
15		Indon	Freie Formelparameter	~
16 Variable Messangsname		lauen	r1 3 r2 1	
1 m1p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2	▼ 22	1/3-Oktave H	r3 3.6 🔻 r4 4	-
18 2 m2p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2		1/3-Oktave H	r5 4.5 🔻 r6 5	•
19 3 m3p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2		1/3-Oktave H	r7 5.2 ▼ r8 5.4	▼
20 4 m4p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2		1/3-Oktave F	Platzhalter für Messdaten	
21 5 m5p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2		1/3-Oktave H	Messungsname	
22 6 m6p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2		1/3-Oktave F	messungshame	
23 7 m7p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2		1/3-Oktave H	Konieren Einträge konieren	
24 8 m8p1 AMT RAR Prüfung ISO 3745/Testmessung/Messung_2	Auswahl von Messungen	All Hone I		
25 9	Datei Bearbeiten Aktionen Audio	Grafik-Definition Report Ext	ras ?	Abbrechen Grafikausgabe
) das Variablenfonctor	🛃 Daten übernehmen und Schließen 🛛 🗎	🖹 🕨 🔳 ∞ 💐 Kanal Nächst	er Report	»
	Grafik-Definition Hallraumprüfungen1	Ausgabe 剑	٩	
nit "Speichern und sungen				
chließen" verlassen	Name	Bem * Unter	titel: Messung 2	
	AMT ISO 3741 Anhang D	Pro	<u> </u>	
31 2.7 Letzte Messungen	AMT RAR Prüfung ISO 3745	Proje 5.) M	essung auswählen und "Daten	übernehmen und
32 16 m7p2 (2.) Letzte Messungen	▲ Testmessung	Veral schlig	Ren"	
33 17 m8p2 (2.) Letzte Messungen	Messung 2		13011	
34 18	Messung_2	Unter -		
19 m1p3 (3.) Letzte Messungen				
20 m2p3 (3.) Letzte Messungen	Parent L			
21 m3p3 (3.) Letzte Messungen				

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).

Messeinstellung	/T-L/RaR Eignungsprüfung ISO 3745	2	
Grafikdefinition	AMT-L/RaR Eignungsprüfung		
Seite	Schalldruck 🔹		

Abb. 61 – Öffnen der Grafikdefinition

Datendefinition (Info)	
Zeitrohdaten; [AMT-L/RaRPrüfungISO37458Mic.pak_var/AMT-L/RaREignungsp	rüfungISO3745/path1_1000_8mic.pa
Zeitrohdaten; [AMT-L/RaRPrüfung ISO3745.pak_var/AMT-L/RaREignungsprüfu	ngISO3745/obererGrenzwert.pak_fo
Zeitrohdaten; [AMT-L/RaRPrüfung ISO3745.pak_var/AMT-L/RaREignungsprüfu	ngISO3745/untererGrenzwert.pak_f
Zeitrohdaten; [AMT-L/RaRPrüfungISO3745.pak_var/AMT-L/RaREignungsprü	ifungISO3745/Grenzwert.pak_for]
Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPrüfungIS037458Mic.pak_var/AMT-L/RaREignungsp	rüfungISO3745/path1_500_8mic.pak
Zeitrohdaten;[AMT-L/RaRPrüfungIS037458Mic.pak_var/AMT-L/RaREignungsp	rüfungISO3745/path1_8000_8mic.pa
<zeitrohdaten;[amt-l amt-l="" rare<="" rarprüfungis03745freiemessung.pak_var="" td=""><td>ignungsprüfungISO3745/path1_500_></td></zeitrohdaten;[amt-l>	ignungsprüfungISO3745/path1_500_>
<zeitrohdaten;[amt-l amt-l="" rare<="" rarprüfungiso3745freiemessung.pak_var="" td=""><td>ignungsprüfungISO3745/path1_1000></td></zeitrohdaten;[amt-l>	ignungsprüfungISO3745/path1_1000>
<zeitrohdaten;[amt-l amt-l="" rare<="" rarprüfungiso3745freiemessung.pak_var="" td=""><td>ignungsprüfungISO3745/path1_8000></td></zeitrohdaten;[amt-l>	ignungsprüfungISO3745/path1_8000>
	Datendefinition zu Nr 1 (ARITHMETIK)
	Variablen Darstellung/Filter Führungs-Parameter Skalen-Definition
	Definition der Berechnung
	Variablen XaR Prüfung ISO 3745 8 Mic.pak_var 🧭 Formel ISO 3745/path1_1000_8mic.pak_for 😂
	Freie Formelparameter
	r1 0.5 🔻 r2 1 👻
	r3 1.5 🔻 r4 2 👻
	r5 2.5 🔻 r6 3 👻
	r7 3.5 v r8 4 v
	Platzhalter für Messdaten
	Messungsname 🖻 👻
	Kopieren Einträge kopieren
	Zurücksetzen Ok Abbrechen Grafikausgabe
C	

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 r1 – r8 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 (r1 bis r8) mit den Nummern der Mikrofone übereinstimmen müssen.



Abb. 63 – Grafikausgabe der Schalldruckabnahmeprüfung

Karteireiter	Beschreibung
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

Schalldruck / Schalldruckpegel	Messpfad 1	Messpfad 2	/ Messpfad 3 /	Messpfad 4	/\ Messpfad 5	

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 3471 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)