

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 44 823 55 11
F +41 44 821 62 44
www.empa.ch

Baudirektion Kanton Zürich
Fachstelle Lärmschutz
Herr Christian Mikolasek
Postfach
8090 Zürich

Untersuchungsbericht Nr. 456'501 int. 207.1271

Prüfauftrag:	Studie Schallpegelreduktion in Konzertlokalitäten Fallbeispiel Club „The Classroom“, Wetzikon
Auftraggeber:	Fachstelle Lärmschutz, Baudirektion Kanton Zürich
Prüfobjekt:	Club „The Classroom“, Wetzikon
Anzahl Seiten:	17
Beilagen:	keine

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Auftrag	3
2 Messungen	4
3 Messergebnisse	6
4 Weitere Angaben zu den Messungen	15

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dübendorf, 10. Februar 2011

Prüfleiter:
Reto Pieren

Abteilungsleiter:
Kurt Eggenschwiler

Zusammenfassung

Im Club „The Classroom“ in Wetzikon wurden Massnahmen an der Raumakustik und an einem unverstärkten Schlagzeug auf deren Wirksamkeit hinsichtlich der Verminderung des A-bewerteten Schalldruckpegels in einer Konzertsituation geprüft. Durch die Montage von schweren Vorhängen im Bühnen- und Zuschauerbereich konnten Pegelreduktionen zwischen 3 und 5 dB(A) im Zuschauerbereich erzielt werden. Massnahmen am unverstärkten Schlagzeug ergaben Pegelminderungen bis zu 3 dB(A).

1 Auftrag

Die Empa Abteilung Akustik/Lärminderung wurde von Herr Christian Mikolasek von der Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich mit der Beratung und messtechnischen Betreuung bei der Studie „Schallpegelreduktion in Konzertsälen“ beauftragt. In diesem Zusammenhang wurde eine Fallstudie durchgeführt, bei der im Club „The Classroom“ in Wetzikon Massnahmen an der Raumakustik und an einem unverstärkten Schlagzeug auf deren Wirksamkeit hinsichtlich des A-bewerteten Schalldruckpegels geprüft wurden. Der vorliegende Bericht fasst die dabei gewonnenen Messresultate zusammen.

2 Messungen

Die Messungen fanden im Club „The Classroom“ an der Bahnhofstrasse 132 in 8620 Wetzikon statt. Separat wurden Massnahmen an der Raumakustik und am Schlagzeug umgesetzt und deren Auswirkung auf den A-bewerteten Schalldruckpegel an bestimmten Punkten im Raum gemessen. Zusätzlich wurde die Nachhallzeit des Raumes nach der Norm SN EN ISO 3382 "Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik" bei unterschiedlichen Zuständen des Raumes ermittelt.

Als raumakustische Massnahme wurden Vorhänge (schwere Bühnenmoltons) mit 100 % Faltung vor den Wänden aufgehängt. Die Flächenmasse der Bühnenmoltons betrug 300 g/m^2 . Angaben über deren spezifischen Strömungswiderstand liegen keine vor. Es wurden drei Konfigurationen gemessen:

- Konfiguration 0: Ohne Vorhänge
- Konfiguration 1: Vorhänge im Bühnenbereich (ca. 28 m^2)
- Konfiguration 2: Umlaufende Vorhänge (ca. 90 m^2)

Bei Konfiguration 1 wurden die beiden Bühnenrückwände mit Vorhängen ausgestattet, wobei bei Konfiguration 2 die zwei Wände der Fensterfront und der Eingangstür dazu kamen (siehe Abbildung 1).

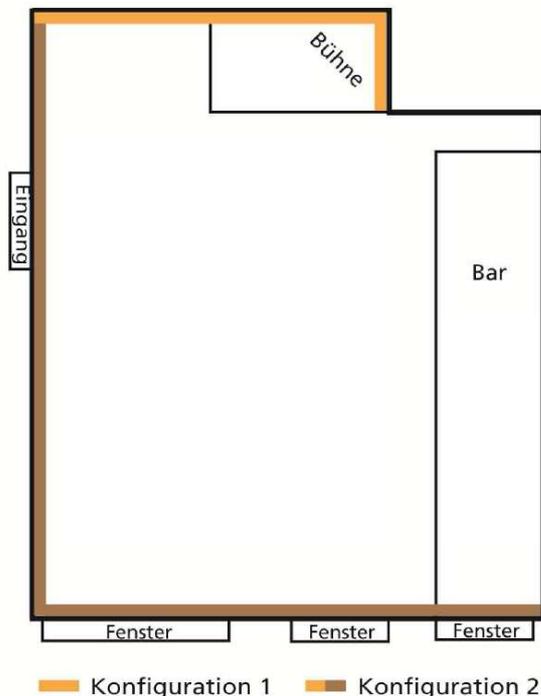


Abbildung 1: Grundrisskizze des Classrooms mit farbiger Markierung der Wände, die mit Vorhängen als raumakustische Massnahme verkleidet wurden.

Neben raumakustischen Massnahmen wurden schalldämpfende Massnahmen an einem unverstärkten Standard-Schlagzeugset untersucht. Das Schlagzeug befand sich dabei auf der Bühne und wurde von einem Amateur-Schlagzeuger gespielt. In einem ersten Schritt wurden die Schlagzeugkomponenten ermittelt, die bei einem typischen Pop/Rock-Rhythmus den A-bewerteten Pegel im Publikumsbereich bestimmen. Im zweiten Schritt wurde die Pegelminderung von dämpfenden Einzelmassnahmen dieser Komponenten gemessen, wie z.B. Dämpfungsringe, Snare-Aussendämpfer oder Cympads®. Schliesslich wurde die Pegelminderung von kombinierten Massnahmen und Massnahmen, die das ganze Schlagzeugset betreffen, ermittelt. Bei allen Messungen wurde unmittelbar vor der Montage und/oder nach der Demontage der Massnahmen eine Referenzmessung durchgeführt.

Die Messungen wurden am 2. und 3. Dezember 2010 durch R. Pieren durchgeführt. Während der Messungen befanden sich 3-4 Personen im Raum. Der Raum war also in unbesetztem Zustand. Es befanden sich keine Stühle oder Tische auf der Publikumsfläche und die vorhandenen Verdunkelungsvorhänge wurden parkiert. Die Bühnendecke war mit Pyramiden-Schaumstoff ausgestattet und die Bühne mit einem dünnen Teppich belegt. Die Decke über dem Publikum, Wände und Boden sind allesamt schallhart ausgeführt. Das Fassungsvermögen beträgt rund 120 Personen, das Volumen des Raums rund 320 m³.

Weitere Angaben zu den Messungen finden sich in Abschnitt 4 ab Seite 15.

3 Messergebnisse

3.1 Nachhallzeit

Die Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen sind in Tabelle 1 und Abbildung 2 dargestellt. Es sind die Werte der Nachhallzeit in Oktavbändern angegeben.

Weitere Angaben zu der Messung der Nachhallzeit finden sich in Abschnitt 4.

Konfiguration	Nachhallzeit pro Oktavband [s]					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0	1.26	1.24	1.31	1.22	1.06	0.85
1	1.14	1.04	1.12	1.01	0.91	0.76
2	1.02	0.85	0.91	0.77	0.61	0.45

Tabelle 1: Nachhallzeiten T_{20} in Sekunden der drei Konfigurationen.

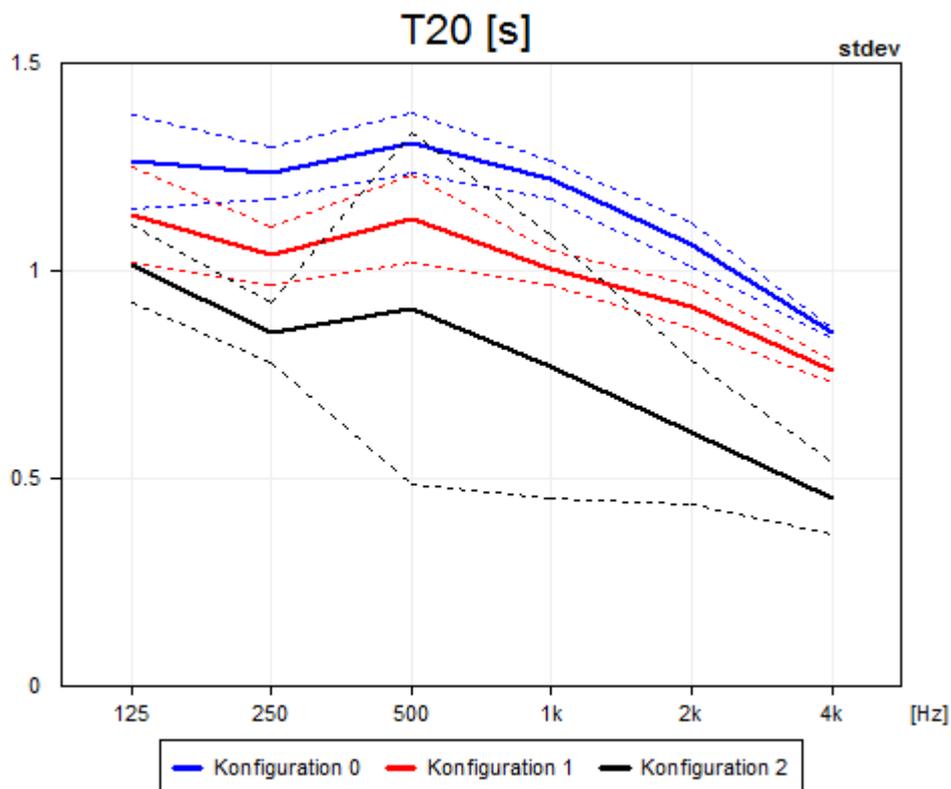


Abbildung 2: Nachhallzeiten T_{20} in Oktavbändern bei Konfigurationen 0 (blau Linien), 1 (rote Linien) und 2 (schwarze Linien) gemessen am 3. Dezember 2010. Die durchgezogenen Linien zeigen den Mittelwert, die gestrichelten Linien zeigen Mittelwert \pm Standardabweichung.

Bemerkung: Bei Konfiguration 2 waren im Zuschauerbereich Flatterechos zwischen Boden und Decke deutlich hörbar. Das erklärt die hohe Streuung der gemessenen Nachhallzeiten bei dieser Konfiguration.

3.2 Pegelminderungen durch raumakustische Massnahmen

Ausgehend von Impulsantwortmessungen wurde für die drei Konfigurationen das relative Stärkemass in Anlehnung an SN EN ISO 3382-1:2009 in Oktavbändern ermittelt. Die dokumentierten Pegelwerte beziehen sich nicht wie in der Norm auf den 10 m-Freifeldpegel, sondern auf einen willkürlichen Wert, der sich durch die verschiedenen Einstellungen der Messeinrichtung ergab. Eine Normierung auf den 10 m-Freifeldpegel ist für die vorliegende Untersuchung nicht notwendig. Die Positionen der Schallquelle (Q1) und der Mikrofone (E1-E4) finden sich in Abbildung 7 auf Seite 15. Die Position Q1 der omnidirektionalen Schallquelle befand sich in der Mitte der Bühne.

Tabelle 2 enthält die gemessenen relativen Stärkemasse pro Oktavband. Die Differenzen der relativen Stärkemasse, resp. die Pegelminderungen, zwischen Konfiguration 0 und 1 ($Grel_0 - Grel_1$) sowie Konfiguration 0 und 2 ($Grel_0 - Grel_2$) sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 in Oktavbändern dargestellt.

Konfiguration	Messpunkt	Relatives Stärkemass (Grel) pro Oktavband [dB]					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0	E1	-227.19	-226.54	-227.91	-227.71	-225.35	-225.11
	E2	-231.30	-225.70	-228.87	-227.63	-224.88	-225.86
	E3	-228.98	-226.96	-229.38	-227.92	-226.09	-225.76
	E4	-227.39	-225.48	-227.89	-226.63	-224.12	-224.73
1	E1	-229.71	-230.39	-232.15	-232.43	-229.80	-228.31
	E2	-233.66	-228.52	-232.08	-231.64	-229.91	-229.74
	E3	-231.98	-230.54	-233.79	-231.52	-229.31	-229.79
	E4	-227.90	-227.61	-230.07	-229.27	-226.31	-225.80
2	E1	-229.96	-229.64	-232.37	-232.32	-229.49	-229.58
	E2	-233.00	-229.38	-235.77	-235.40	-231.17	-230.45
	E3	-229.40	-229.27	-234.41	-233.70	-230.16	-228.10
	E4	-228.69	-228.31	-231.60	-230.82	-227.64	-226.58

Tabelle 2: Gemessene relative Stärkemasse (Grel) in dB der Konfigurationen 0-2 und Messpunkte E1-E4

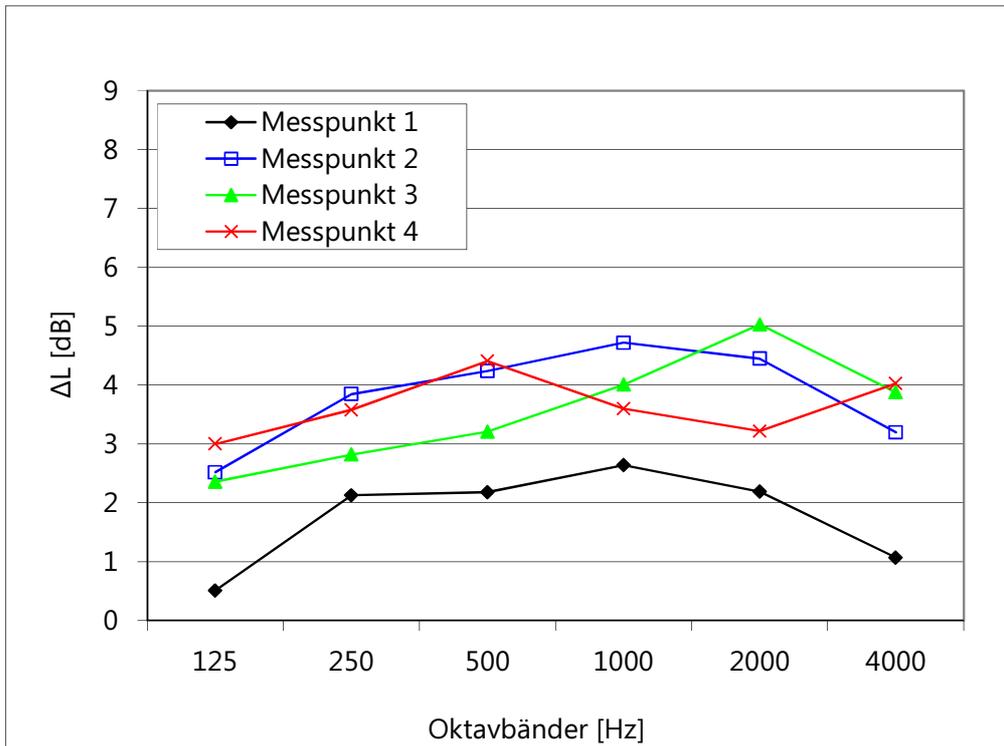


Abbildung 3: Pegelminderungen von Konfiguration 1 zu 0 ($\Delta L = Grel_1 - Grel_0$)

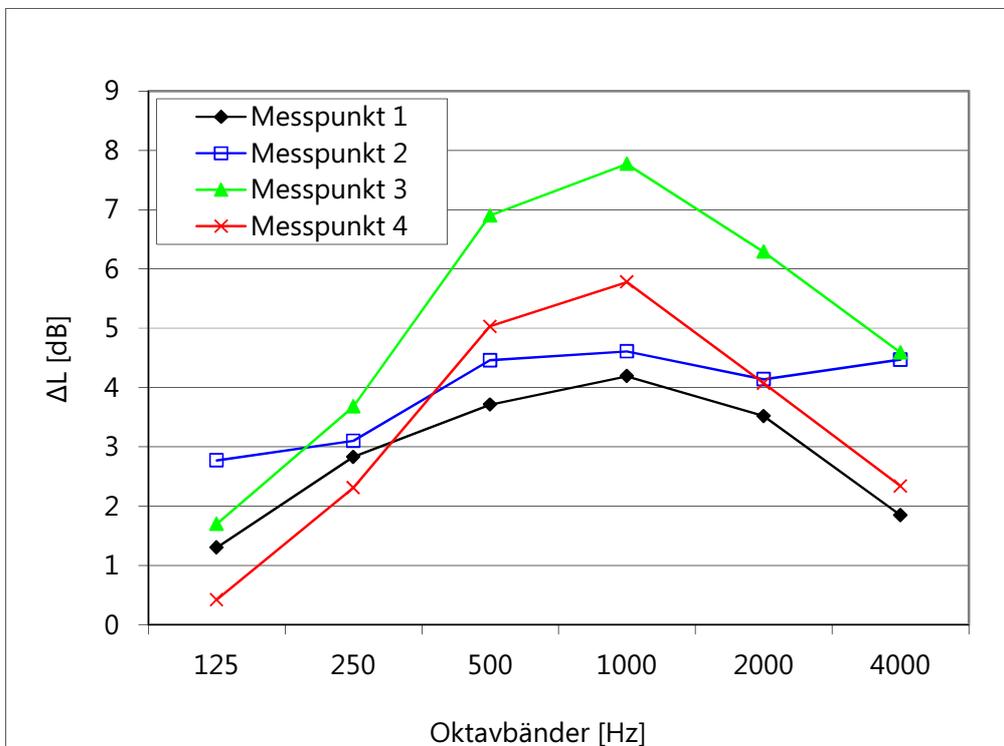


Abbildung 4: Pegelminderungen von Konfiguration 2 zu 0 ($\Delta L = Grel_2 - Grel_0$)

Unter Einbezug des in Tabelle 3 angegebenen Referenzspektrums wurde aus den Pegelminderungen in Oktavbändern die A-bewertete Pegelminderung der Konfiguration 1 und 2 im Vergleich zu Konfiguration 0 berechnet. In Tabelle 4 finden sich für die Messpunkte E1 bis E4 die berechneten A-bewerteten Pegelminderungen ΔL_{0-1} und ΔL_{0-2} der Konfiguration 1, resp. 2. Die Werte sind zudem in Abbildung 5 in einer Grundrisskizze eingetragen. Weitere Angaben zu den Messungen finden sich in Abschnitt 4.

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
139.1 dB	134.6 dB	132.4 dB	126.8 dB	123.2 dB	121.3 dB

Tabelle 3: Referenzspektrum für die Berechnung der A-bewerteten Pegelminderungen (Quelle: erhalten von Alexander Schmid, per Email am 25.11.2010).

Messpunkt	Beschrieb	ΔL_{0-1} Konfiguration 1-0	ΔL_{0-2} Konfiguration 2-0
E1	Zuschauerbereich, 2 m vor der Bühne	2.0 dB(A)	3.2 dB(A)
E2	Zuschauerbereich, 4.5 m vor der Bühne	4.0 dB(A)	4.0 dB(A)
E3	Hinterer Zuschauerbereich	3.4 dB(A)	5.3 dB(A)
E4	Hinter der Bar	3.8 dB(A)	3.6 dB(A)

Tabelle 4: Pegelminderungen durch raumakustische Massnahmen der Konfigurationen 1 und 2 verglichen mit Konfiguration 0

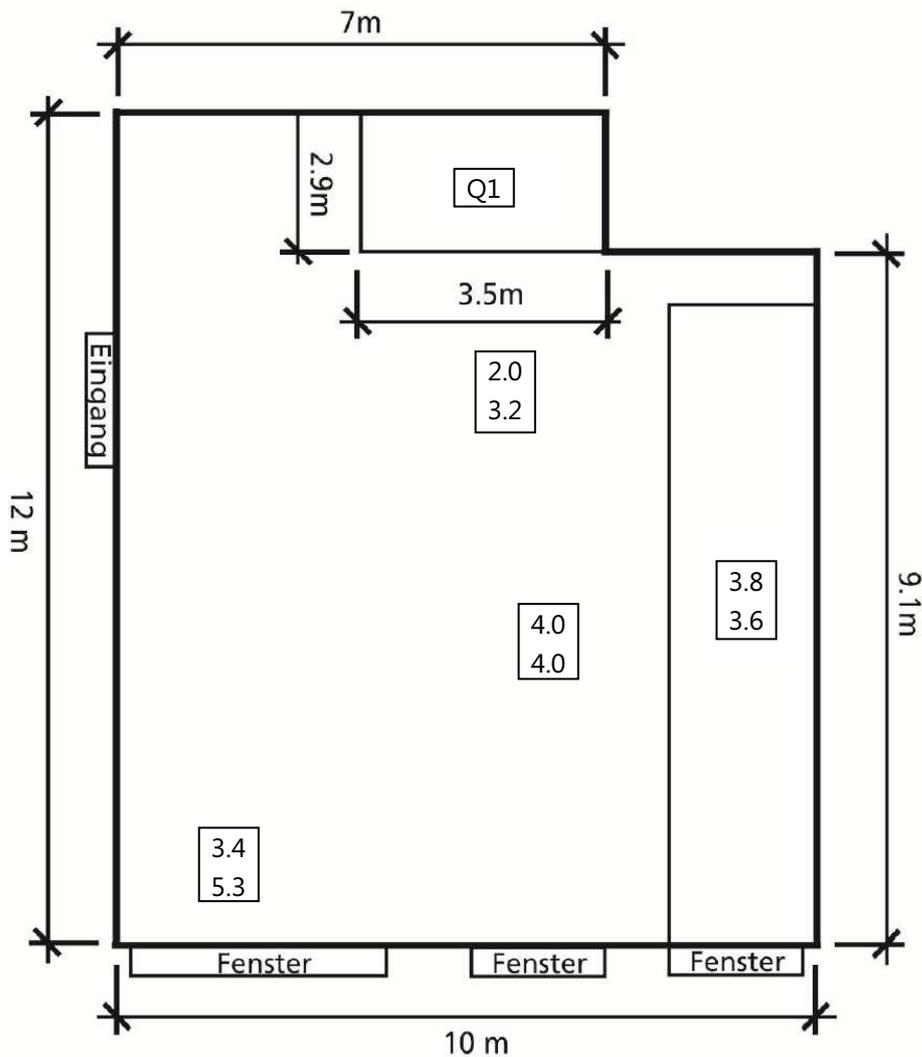


Abbildung 5: Pegelminderungen bei den Messpunkten E1-E4 aufgrund raumakustischer Massnahmen. In den Kästchen sind die A-bewerteten Pegelminderung ΔL [dB(A)] der Konfigurationen 1 (oberer Wert) und 2 (unterer Wert) im Vergleich zu Konfiguration 0 gezeigt.

3.3 Pegelbestimmende Komponenten des Schlagzeugs

Zur Ermittlung der pegelbestimmenden Komponenten des Schlagzeugs wurden Ereignispegel in Oktavbändern gemessen. Die Positionen des Schlagzeugs auf der Bühne (Q1) und des Mikrofons im Zuschauerbereich (E2) finden sich in Abbildung 7 auf Seite 15. Der Abstand des Mikrofons zum Schlagzeug betrug rund 6 m.

In einem repräsentativen Rock/Pop-Rhythmus wurden Ereignispegel der Schlagzeugkomponenten Snare, Kick (Bassdrum), Crash und Hi-Hat (offen) separat gemessen. Tabelle 5 enthält die Ereignispegel in Oktav-

bändern von zwei Einzelmessungen. In der ersten Messung wurden 2 Takte (= 8 Beats) und in der zweiten Messung 4 Takte (=16 Beats) gespielt.

		Anzahl Anschläge	L_E [dB] in Oktaven [Hz]					
			125	250	500	1000	2000	4000
Messung 1	Snare	4	89.7	96.5	98.3	95.3	89.9	84.1
	Kick	7	99.7	92.3	85.6	82.1	76.4	71.0
	Hi-Hat (offen)	15	67.3	76.9	87.4	90.9	87.5	90.3
	Crash	1	55.9	67.3	87.1	82.6	82.9	85.1
Messung 2	Snare	8	95.9	102.9	101.7	99.8	94.7	88.6
	Kick	14	104.8	97.5	90.7	87.0	81.7	76.1
	Hi-Hat (offen)	33	72.4	77.8	95.2	97.1	94.8	94.3
	Crash	2	63.3	72.0	89.4	84.3	83.7	86.2

Tabelle 5: Separat gemessene Ereignispegel der Schlagzeugkomponenten in einem repräsentativen Pop/Rock-Rhythmus.

Unter der Annahme von Spieltempo 100 BPM (Beats per Minute) ergeben sich als Mittelwert der beiden Messungen die in Tabelle 6 angegebenen und in Abbildung 6 dargestellten Mittelungspegel (L_{eq}) der Schlagzeugkomponenten.

	L_{eq} [dB] in Oktaven [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Snare	89.7	96.5	98.3	95.3	89.9	84.1
Kick	99.7	92.3	85.6	82.1	76.4	71.0
Hi-Hat (offen)	67.3	76.9	87.4	90.9	87.5	90.3
Crash	55.9	67.3	87.1	82.6	82.9	85.1

Tabelle 6: Mittelungspegel (L_{eq}) der Schlagzeugkomponenten in einem repräsentativen Pop/Rock-Rhythmus (Mittelwerte aus zwei Einzelmessungen). Der Abstand zum Schlagzeug betrug ca. 6 m.

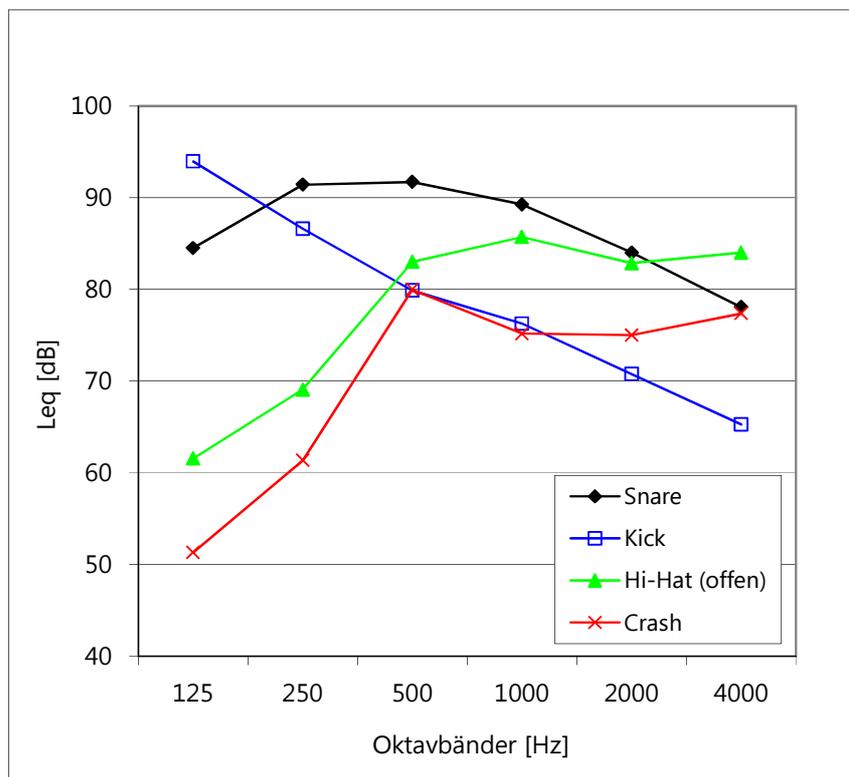


Abbildung 6: Mittelungspegel (L_{eq}) der Schlagzeugkomponenten in einem repräsentativen Pop/Rock-Rhythmus (Mittelwerte aus zwei Einzelmessungen). Der Abstand zum Schlagzeug betrug ca. 6 m.

3.4 Pegelminderungen durch Massnahmen am Schlagzeug

Zur Ermittlung der Pegelminderungen durch Massnahmen am Schlagzeug wurden A-bewertete Ereignispegel gemessen. Es wurden Messungen an einzelnen Komponenten sowie am ganzen Schlagzeugset durchgeführt. Dabei wurde jeweils unmittelbar vor und/oder nach der Messung mit der Massnahme eine Referenzmessung durchgeführt. Die Positionen des Schlagzeugs auf der Bühne (Q1) und des Mikrofons im Zuschauerbereich (E2) finden sich in Abbildung 7 auf Seite 15. Der Abstand des Mikrofons zum Schlagzeug betrug rund 6 m.

Die nachfolgend angegebenen Pegelminderungen ΔL sind als Differenz von Referenzmessung ohne Massnahme und Messung mit Massnahme zu verstehen. Es gilt zu beachten, dass die Werte mit grossen Unsicherheiten behaftet sind, da sich die Anschlagstärke des Schlagzeugers mit der Zeit veränderte. Dies lässt sich auch in den Differenzen von Referenzmessungen vor und nach der eigentlichen Messung mit der Massnahme objektiv beobachten.

3.4.1 Snare-Drum

Zur Dämpfung der Snare wurden vier Massnahmen untersucht, die auf das obere Fell appliziert wurden. Als erstes wurden zwei übereinanderliegende Dämpfungsringe auf die Snare gelegt. Die zweite Massnahme bestand in einem Snare-Dämpfer, der an der Seitenwand der Snare befestigt wird und die Fellschwingungen mit einem Filzkissen dämpft. Als dritte Massnahme wurde ein Karton-Bierdeckel, als vierte ein Papiertaschentuch seitlich auf das Snare-Fell geklebt.

Die Snare wurde mit einem so genannten Rimshot angespielt. Jede Messperiode beinhaltete 8 Anschläge und war rund 10 Sekunden lang.

Massnahme	ΔL [dB(A)]	L_{AE} [dB]					
		Mittelwerte		Einzelmessungen			
		Referenz	Messung	Ref. 1	Ref. 2	Sig. 1	Sig. 2
Dämpfungsringe (2 Stk.)	2.3	104.4	102.1	104.3	104.4	101.6	102.5
Dämpfer	1.4	103.8	102.5	104.4	103.2	102.7	102.2
Bierdeckel	0.5	102.5	102.1	102.6	102.4	102.3	101.8
Nastüchlein	1.3	102.6	101.3	102.7	102.4	101.3	101.2

3.4.2 Hi-Hat (offen)

An der Hi-Hat wurde eine Massnahme untersucht. Unter beiden Becken wurde dabei je ein Kunststoffpad montiert (Produkt Cympad® www.cympad.com)

Die Hi-Hat wurde in geöffnetem Zustand angespielt. Jede Messperiode beinhaltete 16 Anschläge und war rund 8 Sekunden lang.

Massnahme	ΔL [dB(A)]	L_{AE} [dB]					
		Mittelwerte		Einzelmessungen			
		Referenz	Messung	Ref. 1	Ref. 2	Sig. 1	Sig. 2
Kunststoffpads (2 Stk.)	3.8	101.6	97.7	102.0	101.1	97.9	97.5

3.4.3 Crash-Becken

An einem Crash-Becken wurden vier Massnahmen untersucht. Als erste Massnahme wurden, wie bei der Hi-Hat, Kunststoffpads unter das Crash-Becken montiert (Produkt Cympad® www.cympad.com). Als zweite Massnahme kam ein Gelpad, welches auf die Oberseite des Becken gelegt wird, zum Einsatz (Produkt RTOM® Moongel Damper Pad). Als dritte Massnahme wurde ein Stück Gaffer Tape straff auf die Oberseite des Beckens geklebt, als vierte Massnahme wurde es gerippt aufgeklebt.

Das Crash-Becken wurde stark angespielt. Jede Messperiode beinhaltete 9 Anschläge und war rund 14 Sekunden lang.

Massnahme	ΔL [dB(A)]	L_{AE} [dB]					
		Mittelwerte		Einzelmessungen			
		Referenz	Messung	Ref. 1	Ref. 2	Sig. 1	Sig. 2
Kunststoffpad	4.9	98.2	93.3	99.3	97.0	94.2	92.3
Gelpad	2.0	95.4	93.4	95.1	95.7	93.0	93.8
Gaffer Tape straff	1.4	96.5	95.1	96.3	96.7	95.1	
Gaffer Tape gerippt	2.8	96.5	93.7	96.3	96.7	93.7	93.6

3.4.4 Ganzes Schlagzeugset

Nach den Messungen an einzelnen Schlagzeugkomponenten wurde die Pegelreduktion am ganzen Schlagzeugset beim Spiel eines typischen Rock/Pop-Rhythmus untersucht. Im Vergleich zur Verwendung von Standard-Drumsticks (5B) wurde die Pegelminderung von leichteren Drumsticks (Produkt Pro-Mark 7A) und so genannten Multi-Rods (Produkt Pro-Mark Hot Rods) gemessen. Schliesslich wurde eine Kombination von mehreren Massnahmen am Schlagzeug untersucht. Dabei wurde die Snare mit zwei Dämpfungsringen und die Hi-Hat und das Crash-Becken mit Kunststoffpads ausgestattet.

Jede Messperiode beinhaltete 7 4/4-Takte und war rund 26 Sekunden lang.

Massnahme	ΔL [dB(A)]	L_{AE} [dB]					
		Mittelwerte		Einzelmessungen			
		Referenz	Messung	Ref. 1	Ref. 2	Sig. 1	Sig. 2
leichte Drumsticks (7A)	0.4	112.7	112.3	112.3	113.1	112.1	112.5
Multi-Rods	3.1	113.1	109.9	113.1	113.0	109.9	
kombinierte Massnahmen	3.3	112.2	108.9	113.0	111.4	108.9	

4 Weitere Angaben zu den Messungen

4.1 Messpositionen

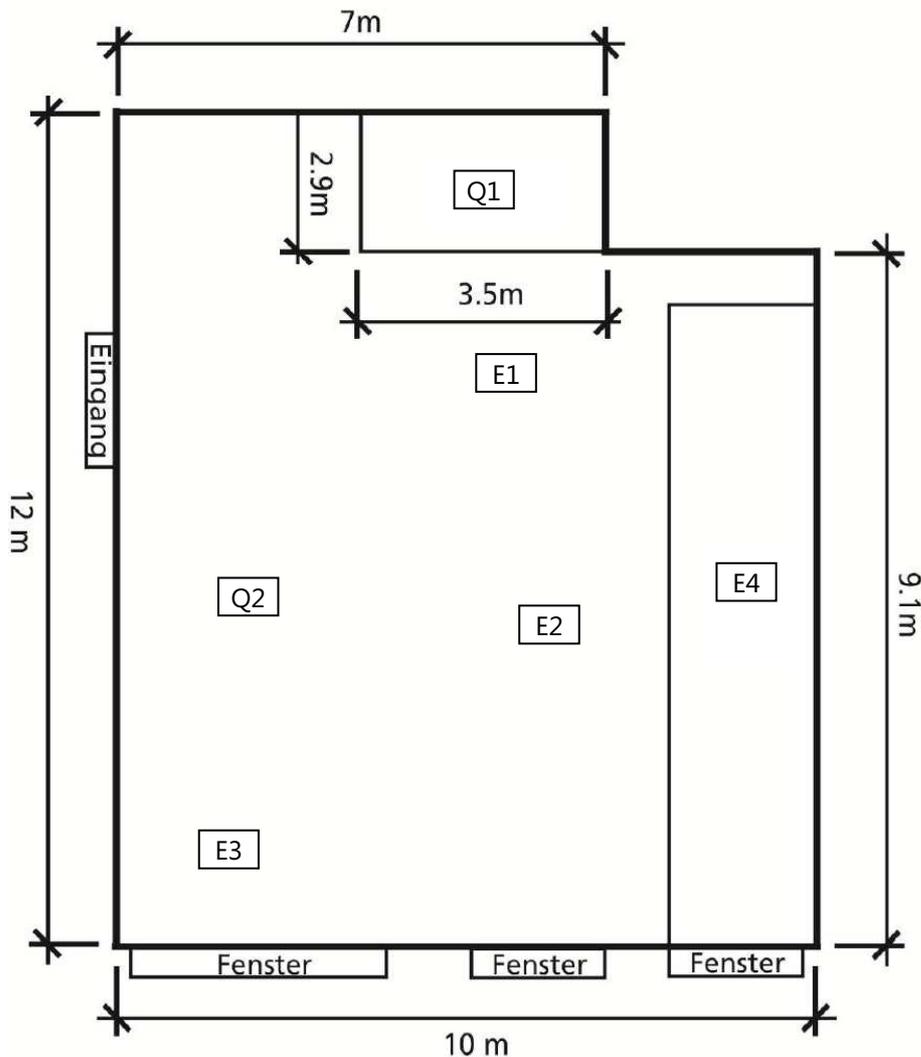


Abbildung 7: Positionen der Quellen- und Empfangspunkte. Q1 und Q2: Lautsprecherpositionen für die Messung der Nachhallzeit, Q1: Lautsprecherposition für die Messung des relativen Stärkemasses und Position des Schlagzeugs, E1-E4: Mikrofonpositionen für die Messung der Nachhallzeit und des relativen Stärkemasses, E2: Mikrofonposition für die Messung der Pegelminderung durch Massnahmen am Schlagzeug.

4.2 Nachhallzeit und relatives Stärkemass

Raumtemperatur: 17.0° C, relative Feuchte: 24.4 %

Messgeräte:

- Raumakustik Messsystem Dirac 4.1, Brüel & Kjaer Typ 7841, Messverfahren: e-Sweep, Se-

quenzlänge 2.73 Sekunden, Anzahl Mittelungen: 8

- Raumakustik-Lautsprecher OmniSource Brüel & Kjaer Typ 4295, Serie-Nr. 02208257
- Mikrofon Brüel & Kjaer 4006, Serie-Nr. 1085366
- Temperatur und Feuchte: rotronic Hydro Palm, Serie-Nr. 31559 005

Messverfahren:

Die Nachhallzeit und das relative Stärkemass in Oktavbändern wurden aus gemessenen Impulsantworten berechnet.

Die Nachhallzeitmessung wurde gemäss Norm SN EN ISO 3382 durchgeführt. Es wurde T20 ausgewertet, also die Nachhallzeit welche für den Nachhallabfall von -5 bis -25 dB gemessen wird. Mit der Wahl von T20 wird oft eine kleinere Messunsicherheit erreicht - der Einfluss von Störgeräuschen auf die Messung ist bei T20 kleiner als bei T30.

Messpositionen:

Standardverfahren SN EN ISO 3382-2, 2 Lautsprecherpositionen (Q1 – Q2) mit je 4 Mikrofonpositionen (E1 – E4). Lautsprecher- und Mikrofonpositionen: Abbildung 7.

Höhe der Lautsprecher- und Mikrofonpositionen: 1.6 Meter

Messunsicherheit:

Nachhallzeit:

Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Messunsicherheit [%] Konfiguration 0 und 1	3	2	2	1	1	1
Messunsicherheit [%] Konfiguration 2	4	3	2	1	1	1

Tabelle 7: Messunsicherheit der Nachhallzeit im Sinne einer Standardabweichung in % des Messwertes (nach SN EN ISO 3382)

Relatives Stärkemass:

Die Differenzen des relativen Stärkemasses haben eine geschätzte Unsicherheit von weniger als 0.5 dB.

Bemerkung:

Die Messungen der Nachhallzeit wurden so durchgeführt, dass bei Bedarf zusätzlich die raumakustischen Parameter EDT, C80 in den Oktav- oder Terzbändern von 125 – 4000 Hz nachträglich ausgewertet werden könnten.

4.3 Pegelminderungen durch Massnahmen am Schlagzeug

Messgeräte:

- Umweltakustikanalysator Norsonic Nor121 (Empa #2)
- Norsonic Sound Calibrator 1251 (Empa #2)

Messverfahren:

Es wurden A-bewertete Ereignispegel (L_{AE}) mit einem omnidirektionalen Mikrofon gemessen.

Messpositionen:

Schlagzeug auf Bühne bei Position Q1, Mikrofonposition E2 in 5.7 m Abstand zum Schlagzeug: siehe Abbildung 7

Höhe der Mikrofonposition: 1.6 Meter

Messunsicherheit:

Die Unsicherheit der Kalibration und der elektrischen Messkette beträgt ± 0.5 dB im Sinne einer Standardabweichung. Da Pegeldifferenzen gemessen wurden, liegt die Unsicherheit der Kalibration und der elektrischen Messkette unter 0.5 dB. Die Unsicherheit der Schallausbreitung und der Quelle, resp. des Anschlags des Schlagzeugers, wird aufgrund einer Statistik über mehrere Einzelmessungen auf 0.5 dB geschätzt. Es resultiert eine gesamte Messunsicherheit von weniger als 1 dB.