

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



Materials Science & Technology

Nina Mahler
Bundesamt für Umwelt BAFU
Abt. Lärm und NIS
Sektion Flug-, Industrie- und Schiesslärm
3003 Bern

Untersuchungsbericht Nr. 5'214'001'633, int. 597.2590

Auftrag: Messtechnische Untersuchungen im Projekt „Smartphone als Schallpegelmesser“

Anzahl Seiten: 33

Inhalt

- 1 Zusammenfassung
- 2 Auftrag
- 3 Einleitung
- 4 Untersuchte Hardware und Apps
- 5 Messkonzept
- 6 Messergebnisse
- 7 Diskussion
- 8 Fazit

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Akustik / Lärminderung
Dübendorf, 3. 4. 2014

Projektleiter:
Kurt Heutschi

Abteilungsleiter:
Kurt Eggenschwiler

Disclaimer: Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

1 Zusammenfassung

Auf den Plattformen iPhone, iPad, Samsung Galaxy und hTC One wurden mehrere Apps auf ihre Tauglichkeit zur Schallpegelmessung hin untersucht. Zusätzlich wurde ein auf einem USB-Mikrofon basierendes Messsystem von Dr. Jordan Design in die Reihe der Prüflinge aufgenommen. Im Labor der Empa wurde der von einem Lautsprecher im Fernfeld erzeugte Schalldruck simultan mit dem Prüfling und mit einem Referenzsystem vermessen. Die Untersuchungen umfassten die Bestimmung des Frequenzgangs für Terzbandrauschen in einem mittleren Pegelbereich von 75 dB und die Bestimmung der Dynamiklinearität für ein Popmusikspektrum von 25 bis 105 bzw. 110 dB(A). Zwischen den Plattformen und Apps traten bedeutende Unterschiede zu Tage. Am besten abgeschnitten hat die für das iPhone/iPad verfügbare App „Noise Immission Analyzer“. Sie erreicht bei einer Leq-Bestimmung ohne Kalibration mit dem internen Mikrofon im Frequenzbereich zwischen 63 Hz und 13 kHz und im Pegelbereich zwischen 30 und 110 dB(A) eine instrumentenbedingte Messunsicherheit von lediglich 1 bis 2 dB(A). Noch bessere Eigenschaften zeigt das USB-Messmikrofon von Dr. Jordan Design.

2 Auftrag

Mit Vertrag vom 22.4.2013 beauftragte das Bafu die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung mit der messtechnischen Untersuchung der Eignung von Smartphones als Schallpegelmesser¹. Dazu sind an mindestens vier verschiedenen Geräten unter Verwendung mehrerer Apps der Frequenzgang und die Linearität von Pegelvariationen (Dynamik) zu untersuchen. Die in einem Bericht dokumentierten Messungen sollen als Grundlage für die Ausarbeitung eines Merkblatts dienen.

3 Einleitung

Die grosse Verbreitung von Smartphones und entsprechender Apps führt dazu, dass solche Geräte immer häufiger zur Schallpegelmessung eingesetzt werden. Bei unbedarfter Anwendung oder Verwendung ungeeigneter Apps sind die Ergebnisse allerdings mit grossen Unsicherheiten behaftet. Im Rahmen einer von der SUVA betreuten Maturarbeit wurde für die iPhone Familie eine umfassende Übersicht mit messtechnischen Untersuchungen derzeit erhältlicher Apps erarbeitet. Die FALS, Kt. ZH und der Cercle Bruit planen, ein Faktenblatt mit Anwendungshinweisen und Empfehlungen zum Einsatz solcher Geräte zu publizieren.

¹ Eine ergänzende Untersuchung der iPhone App „Analyzer“ von DSP Mobile wurde im Auftrag der FALS des Kantons Zürich durchgeführt und in diesen Bericht integriert.

4 Untersuchte Hardware und Apps

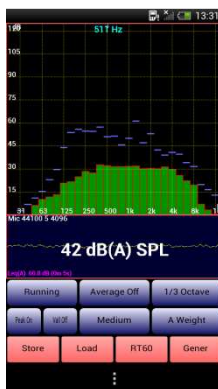
4.1 SAMSUNG Galaxy 3S

Hardware:

- Modell GT-I9300, Android-Version 4.1.2

Apps:

- Audio Tool v5.8 von jjbunn, SFr. 7.05
- Lärm-Messung Pro, Sound Meter Pro, ver. 2.4 von Smart Tools, SFr. 1.00
- Noise Meter 2.2 von jinasys, SFr. 0.00
- Professional dB von Darren Gates, SFr. 1.00



Audio Tool v5.8 von
jjbunn



Lärm-Messung Pro,
Sound Meter Pro, ver.
2.4 von Smart Tools



Noise Meter 2.2 von
jinasys



Professional dB von
Darren Gates

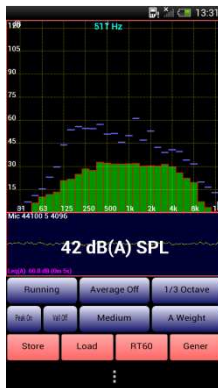
4.2 hTC One

Hardware:

- Modell hTC One X+, S/N FA31XW101467, Android-Version 4.1.1

Apps:

- Audio Tool v5.8 von jjbunn, SFr. 7.05
- Lärm-Messung Pro, Sound Meter Pro, ver. 2.4 von Smart Tools, SFr. 1.00
- Noise Meter 2.2 von jinasys, SFr. 0.00
- Professional dB von Darren Gates, SFr. 1.00



Audio Tool v5.8 von jjbunn



Lärm-Messung Pro,
 Sound Meter Pro, ver.
 2.4 von Smart Tools



Noise Meter 2.2 von jinasys



Professional dB von Darren Gates

4.3 iPad

Hardware:

- Modell MC770FD, S/N DMPG24BQDFHY

Apps:

- SPL Pro Version 3.5, von Studio Six Digital, \$ 7.99
- Noise Immission Analyzer, Version 1.2, von WaveScape Technologies, € 2.69



SPL Pro Version 3.5, von Studio Six Digital



Noise Immission Analy-
 zer, Version 1.2, von WaveScape Technolo-
 gies

4.4 iPhone 4

Hardware:

- Modell MC603FD/A, S/N 7U0349VWA4S

App:

- Noise Immission Analyzer, Version 1.2, von WaveScape Technologies, € 2.69



Noise Immission Analy-
zer, Version 1.2, von
WaveScape Technolo-
gies

4.5 iPhone 5

Hardware:

- Modell MD299FD/A, S/N C37JR5A0DTWG

Apps:

- SPL Pro Version 3.5, von Studio Six Digital, \$ 7.99
- Noise Immission Analyzer, Version 1.2, von WaveScape Technologies, € 2.69
- SoundMeter 3.3.1, von Faber Acoustical, \$ 19.99
- Analyzer 2.3.2, von DSP Mobile, SFr. 15.00, Filtermodul für externes Mic i436, SFr. 10.00



SPL Pro Version 3.5, von Studio Six Digital



Noise Immission Analyzer, Version 1.2, von WaveScape Technologies



SoundMeter 3.3.1, von Faber Acoustical



Analyzer 2.3.2, von DSP Mobile

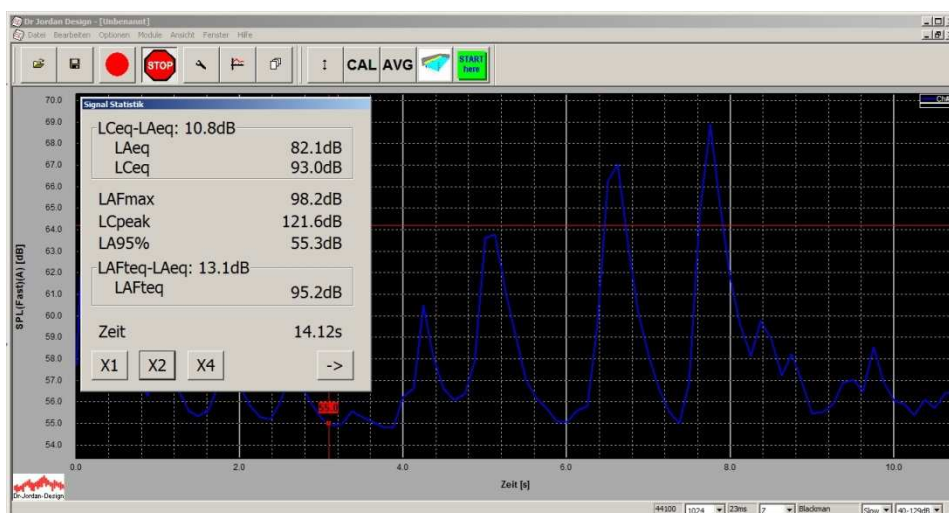
4.6 USB Messsystem Dr.-Jordan-Design

Hardware:

- USB Messmikrophon ATD-4S, S/N 001028 an Laptop mit Windows-Betriebssystem

Software:

- AkuLap, Version PRO EX Edition 2.6_16.4.2013, mitgeliefert



5 Messkonzept

Das Messkonzept legte den Fokus auf den Frequenzgang und die Linearität von Pegelzu- bzw. abnahmen (Dynamikmessungen). Zur Bestimmung der Smartphone-Eigenschaften wurde der von einem Lautsprecher Typ EV Sx200 in 1.25 m Abstand erzeugte Schalldruck vermessen (Abbildung 1). Bei jeder Messung eines Prüflings wurde simultan eine Referenzmessung mit einem Messmikrophon B&K 4189, S/N 2386105 und einem Schallpegelmesser Norsonic 121, Empa Nr. 1 durchgeführt. Da sämtliche späteren Auswertungen jeweils die Abweichungen zwischen Prüfling und Referenzmesskette ausweisen, werden mögliche Schwankungen des Lautsprechers kompensiert.



Abbildung 1: Messkonfiguration im reflexionsarmen Raum mit hartem Boden.

5.1 Frequenzgangmessungen

Die Frequenzgangmessungen erfolgten mit terzbandbreitem Rauschen. Mittels eines Equalizers wurde der Frequenzgang des Lautsprechers so kompensiert, dass der unbewertete Schalldruckpegel in jeder Terz innerhalb von ± 3 dB konstant war. Der Pegel des Lautsprechers wurde so angepasst, dass das Terzbandrauschen bei 1 kHz einen Schalldruckpegel von 75 dB(A) erzeugte. Der Schalldruck in den einzelnen Terzbändern wurde als Mittelungspegel über 10 Sekunden ermittelt. Damit ist gewährleistet, dass die durch die Zufälligkeit des Signals prinzipiell bedingte Messunsicherheit auch in der tiefsten ausgewerteten Terz (63 Hz) kleiner als 1 dB ist. Als Messwert wurde jeweils der A-bewertete Schalldruckpegel abgelesen. Damit beinhaltet das Ergebnis sowohl den Frequenzgang der Messkette als auch die Nachbildung des A-Filters.

5.2 Dynamikmessungen

Für die Dynamikmessungen wurde als Anregungssignal ein gemäss dem Popmusikspektrum aus der VDI 3770 gewichtetes Breitbandrauschen (Abbildung 2) verwendet. Das Anregungssignal wurde in der Amplitude so variiert, dass A-Pegel von 25, 30, 35, 40, 45, 60, 80, 85, 90, 95, 100 und 105 dB(A) resultierten. Bei den Apps, die 105 dB(A) zuverlässig anzeigten, wurde zusätzlich ein Pegel von 110 dB(A) (in kürzerem Abstand) angeboten. Als Messwert wurde jeweils der über 10 Sekunden gebildete, A-bewertete Mittelungspegel registriert. Der Frequenzgang des anregenden Lautsprechers wurde wiederum mit einem Equalizer linearisiert. Um sendeseitig den grossen Dynamikumfang zu beherrschen, wurde für die Signale 25 bis 45 dB(A) ein 50 dB Abschwächer eingefügt.

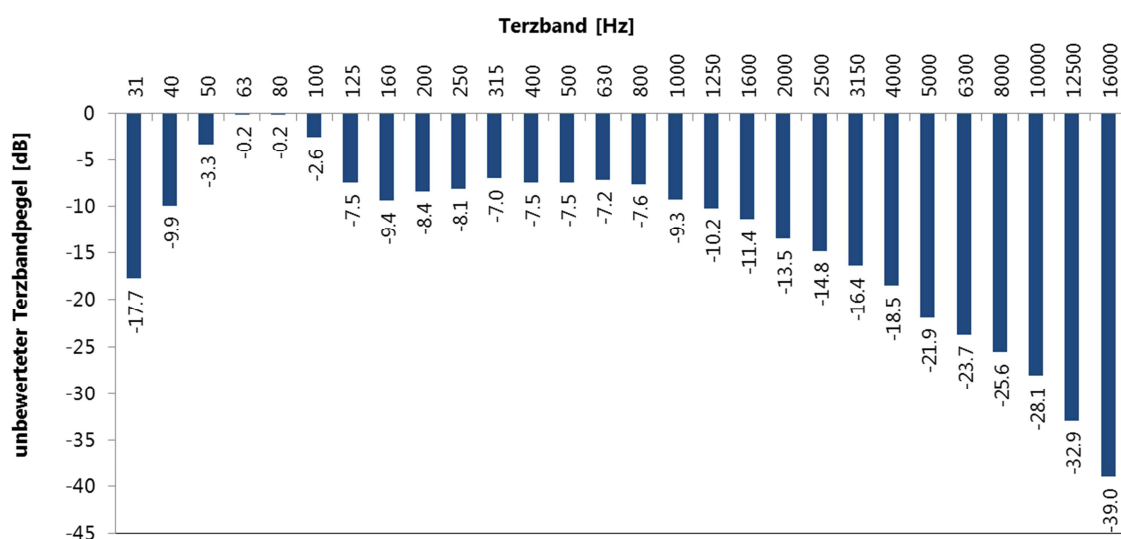


Abbildung 2: Relatives Terzbandspektrum des Anregungssignals (Rock/Pop-Musikspektrum gemäss VDI 3770) für die Dynamikuntersuchung.

5.3 Kalibration

Bei Verwendung des internen Mikrophons wurden die Apps bewusst nicht kalibriert, d.h. die Default-Einstellungen verwendet. Bei Messungen mit dem externen Aufsteckmikrophon wurde jeweils eine Kalibration mit einem 94 dB Kalibrator vorgenommen. Da dieser Pegel bei gewissen Anwendungen bereits im nichtlinearen Bereich liegen kann, können gleichwohl trotz dieser Kalibration Abweichungen im Absolutpegel entstehen.

5.4 Zusatzuntersuchungen zu möglichen Dynamikkompressionen

Exemplarisch wurde für das iPhone 5 und die Apps *Noise Immission Analyzer 1.2* und *SoundMeter 3.3.1* zusätzlich das Verhalten bei intermittierendem Rauschen untersucht. Dazu wurde das für die Dynamikmessung verwendete Rauschsignal abwechselnd ein- und ausgeschaltet. Nebst kontinuierlichem Rauschen zu Kontrollzwecken wurden als Ein/Aus-Phasen 30 ms, 100 ms und 300 ms gewählt (Abbildung 3). Mit dieser Messung sollten allfällige Dynamikkompressionen (Zeitkonstanten) zu Tage gefördert werden.

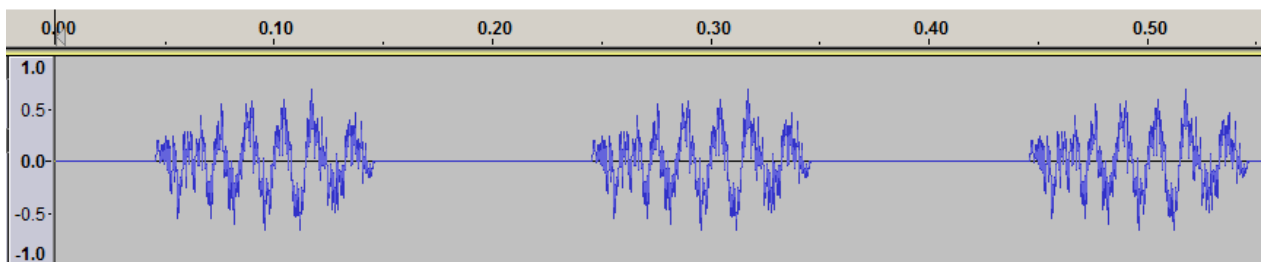


Abbildung 3: Intermittierendes Rauschsignal mit 100 ms langen Ein/Aus-Phasen.

5.5 Zusatzuntersuchungen zu windinduzierten Geräuschen

Zur Untersuchung von windinduzierten Geräuschen wurden Experimente durchgeführt, bei welchen das Smartphone im Labor an einem 4.45 m langen Pendel durch ruhene Luft bewegt und der resultierende A-bewertete Mittelungspegel L_{eq} ausgewertet wurde (Abbildung 4). Während des Pendelns variierte die Geschwindigkeit sinusförmig. Durch Variation der anfänglichen Startauslenkung wurden Geschwindigkeitsamplituden von 2, 3, 4 und 5 m/s eingestellt.

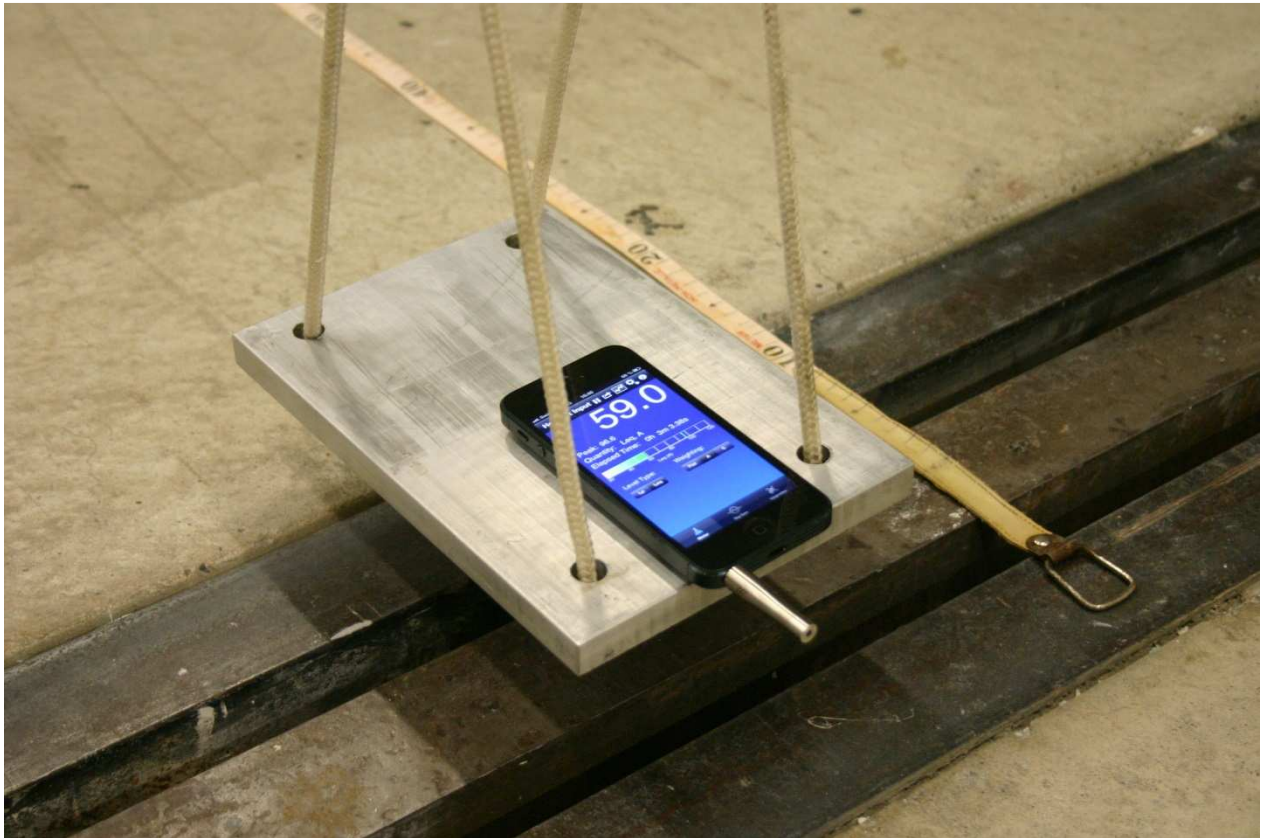


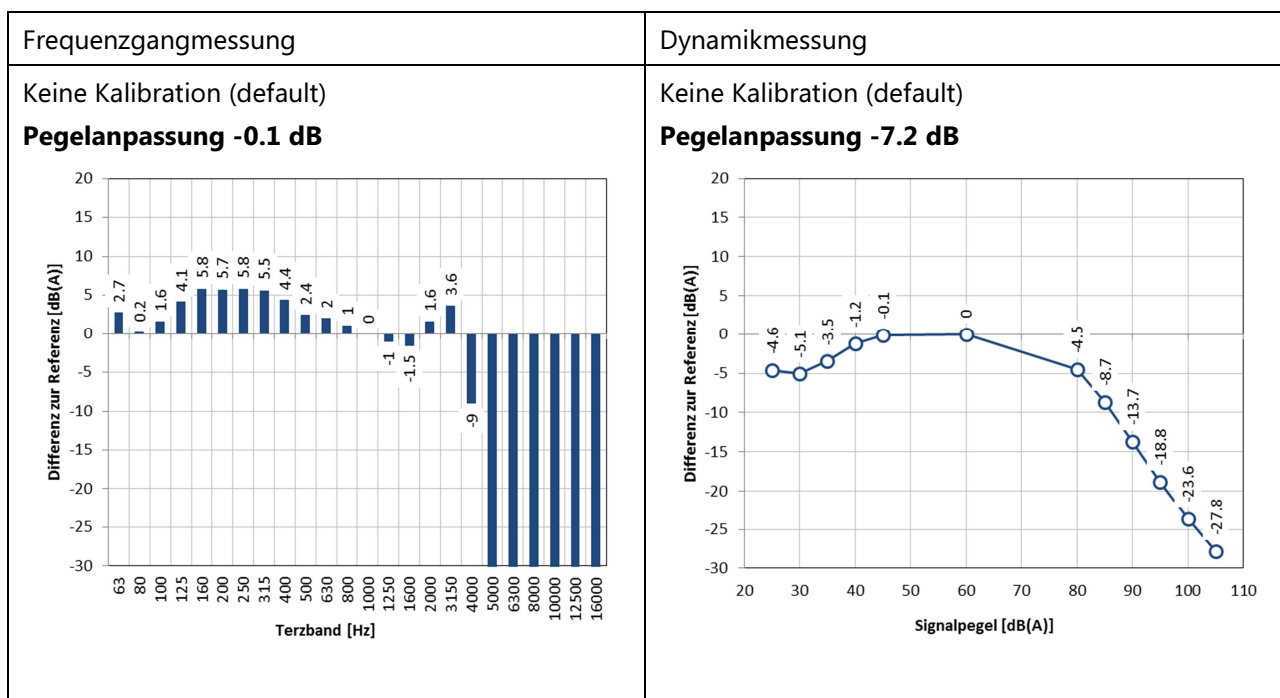
Abbildung 4: Pendelplatte in Ruhelage mit installiertem Smartphone und externem Mikrofon ohne Windschirm.

6 Messergebnisse

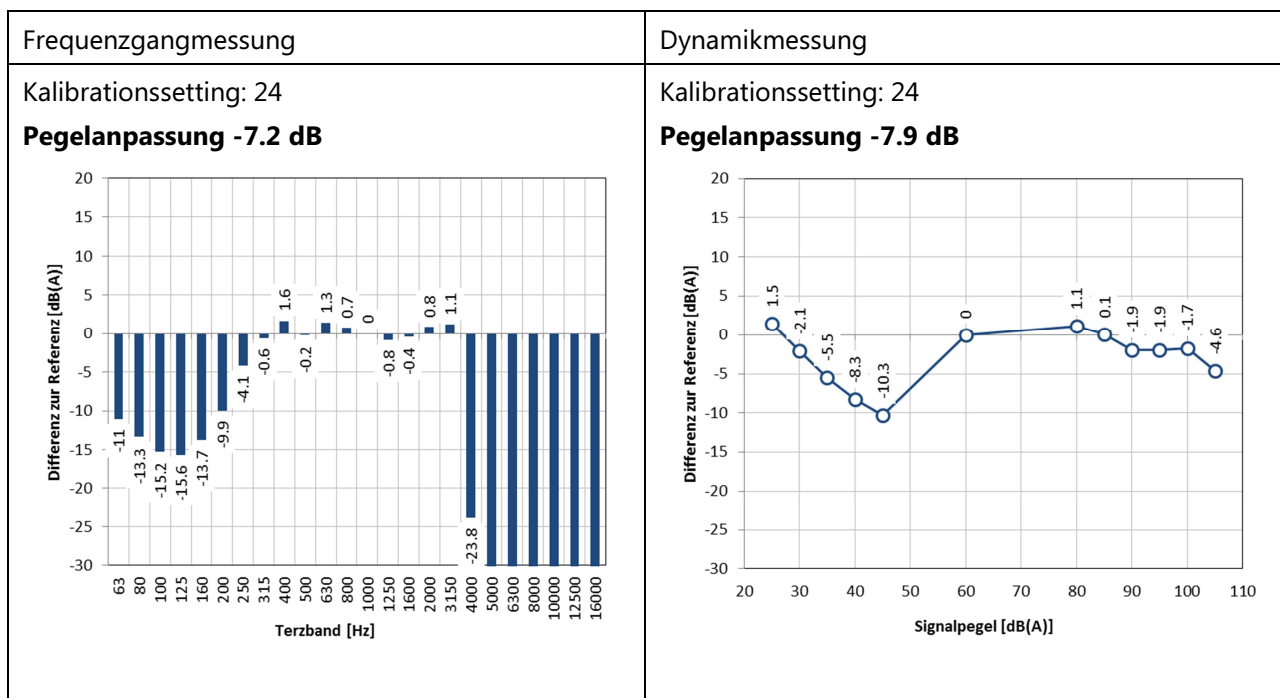
Die Ergebnisse sämtlicher Messungen werden als Differenz des Prüflings zum Referenzmikrofon ausgewiesen und so angepasst, dass diese Differenz bei 1 kHz (bei Frequenzgangmessungen) bzw. 60 dB(A) (bei Dynamikmessungen) verschwindet. Die entsprechenden Pegelanpassungen werden in den Ergebnissen als „Pegelanpassung“ ausgewiesen.

6.1 SAMSUNG Galaxy 3S

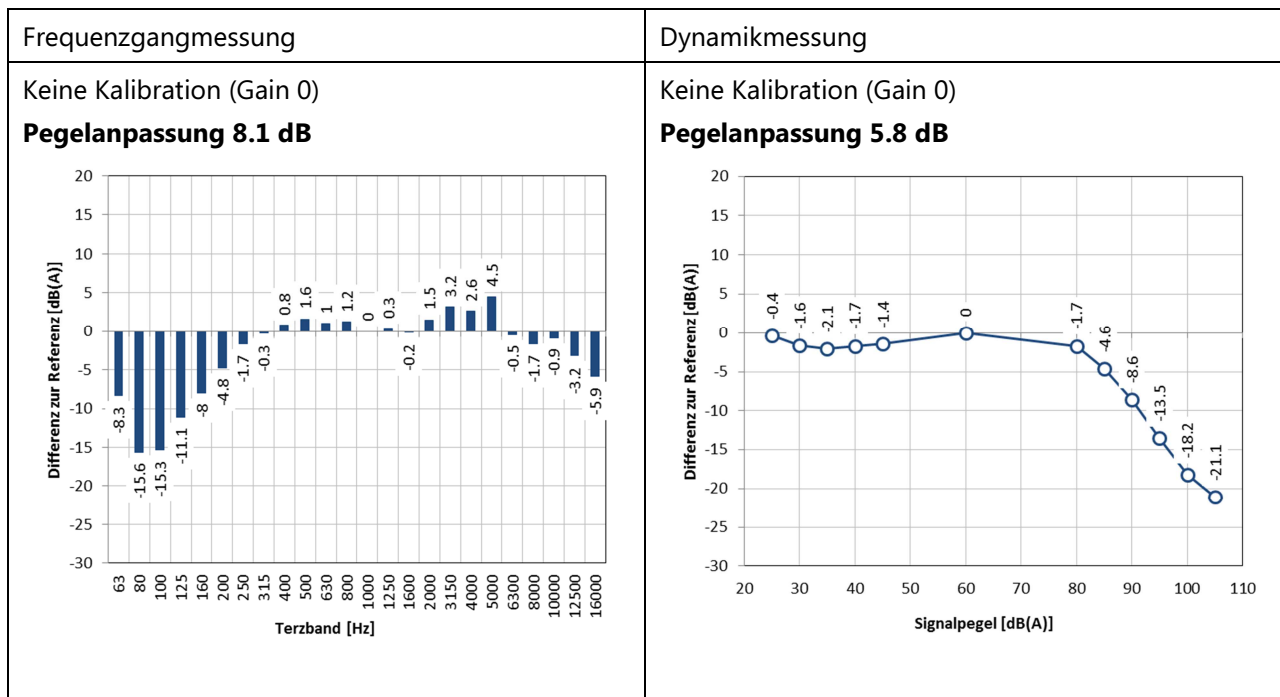
6.1.1 Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4, internes Mikrophon



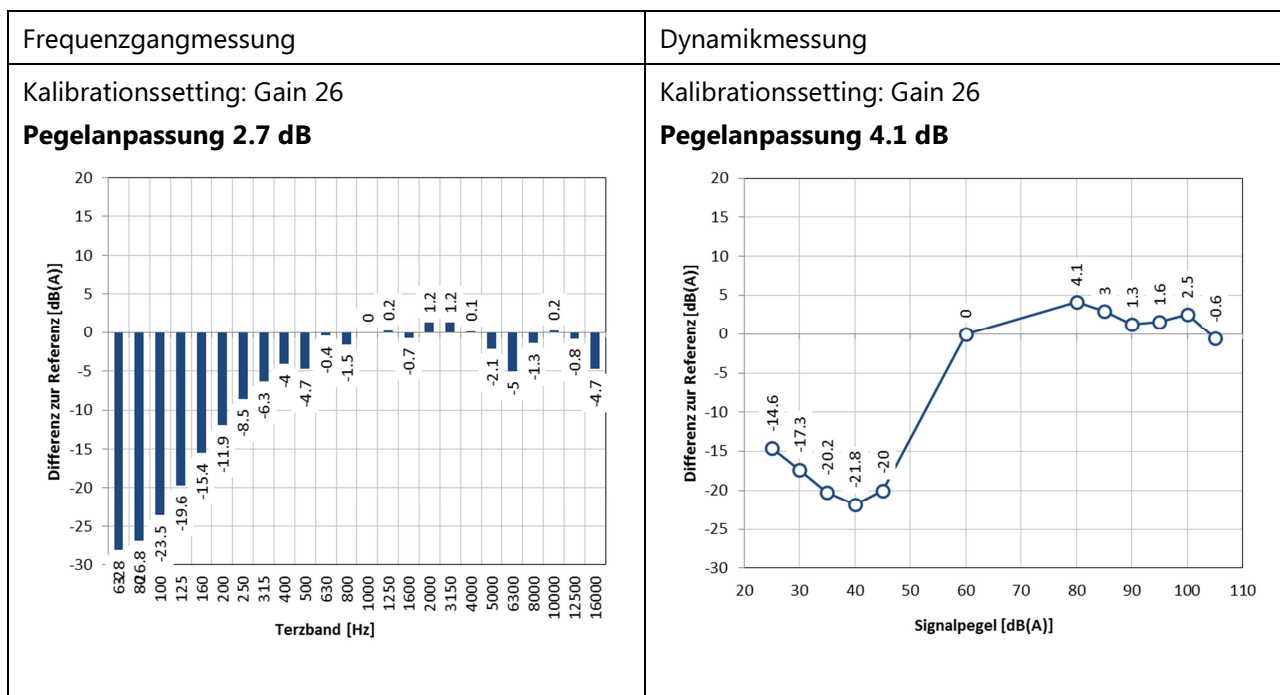
6.1.2 Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



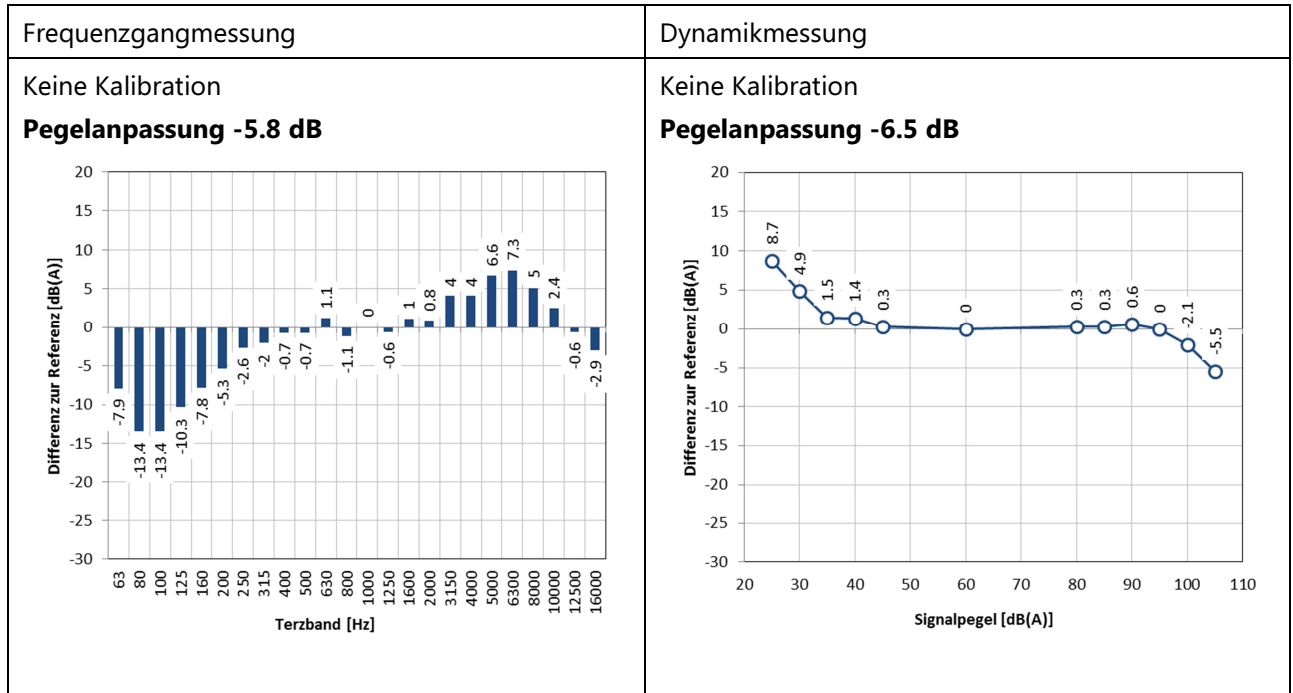
6.1.3 Noise Meter, internes Mikrophon



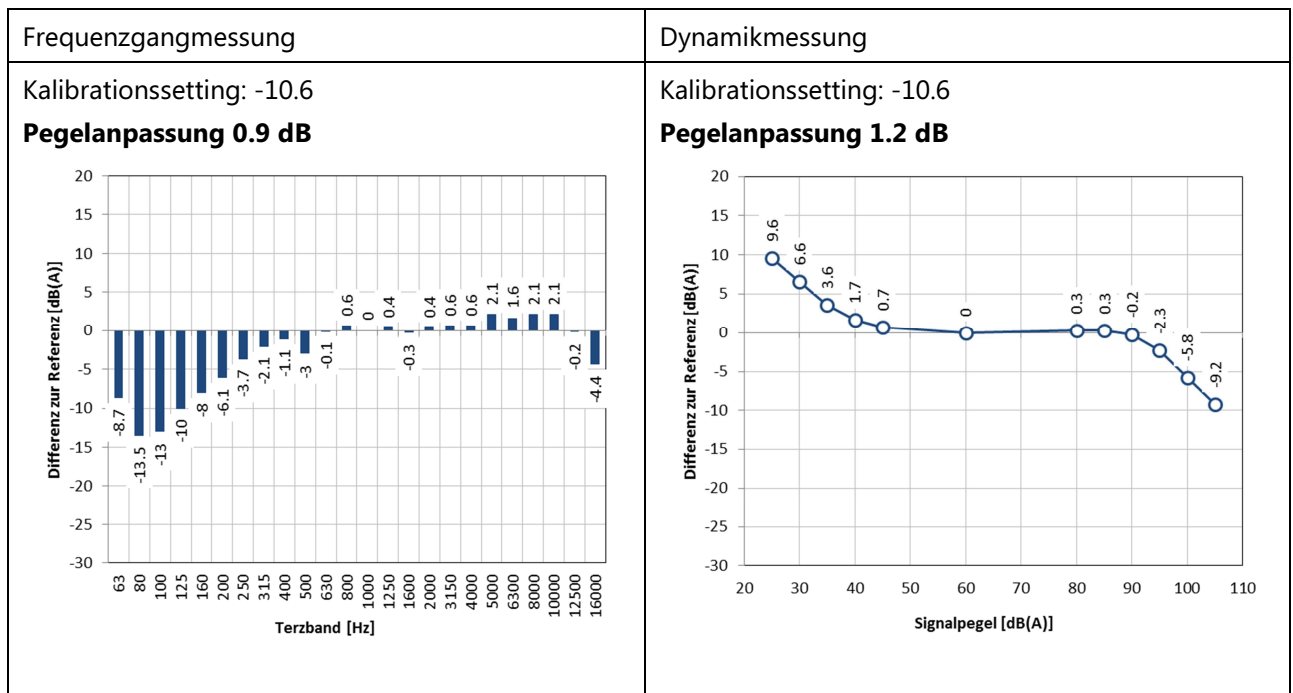
6.1.4 Noise Meter, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



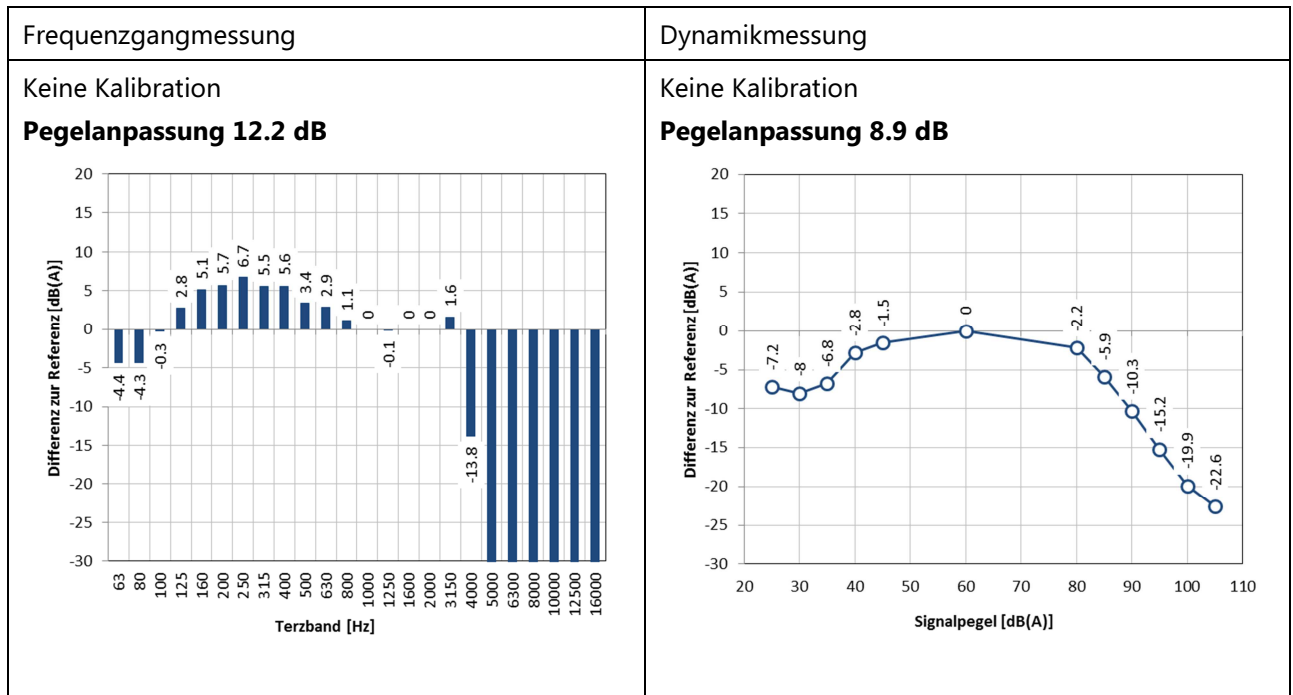
6.1.5 Audio Tool v. 5.8, internes Mikrophon



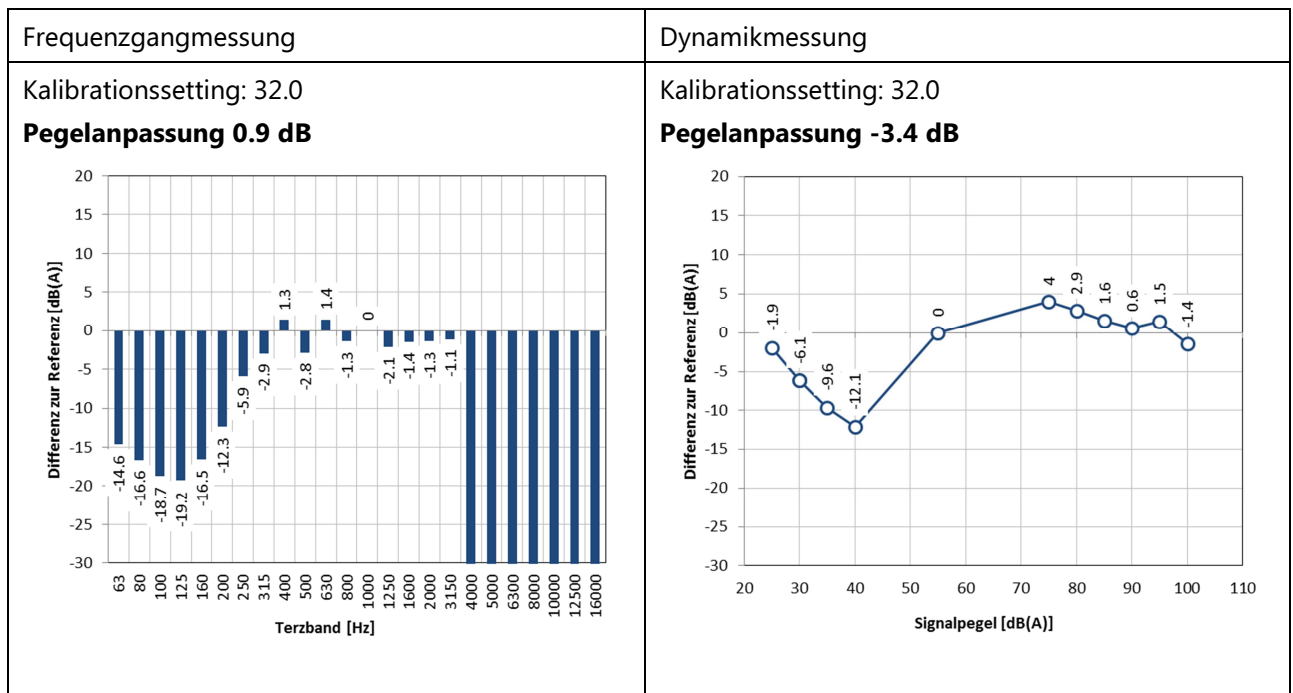
6.1.6 Audio Tool v. 5.8, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



6.1.7 Professional dB, internes Mikrophon

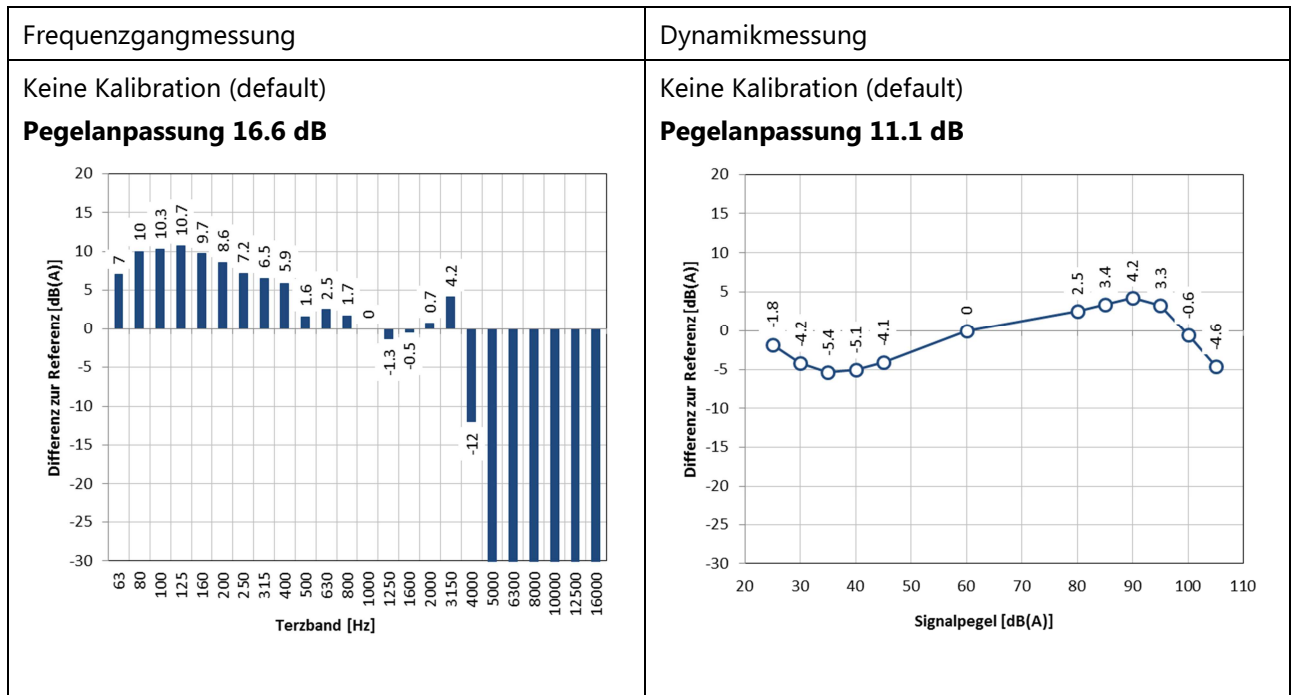


6.1.8 Professional dB, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812

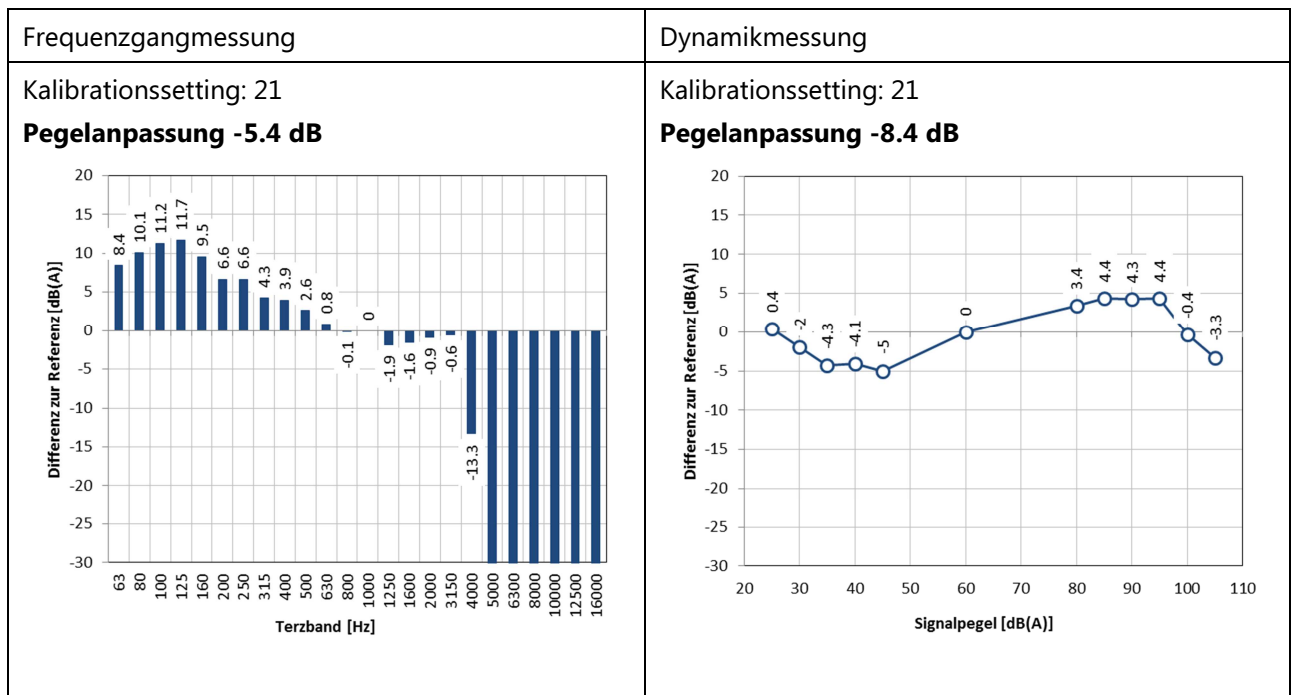


6.2 hTC One

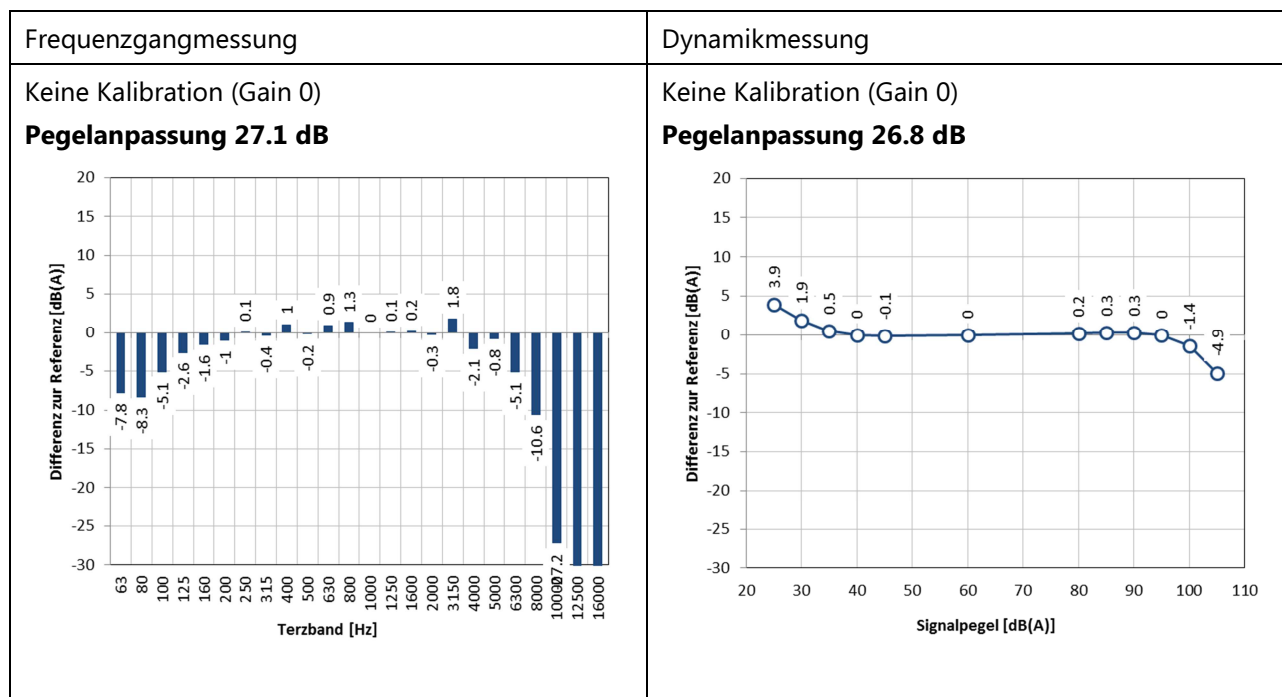
6.2.1 Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4, internes Mikrophon



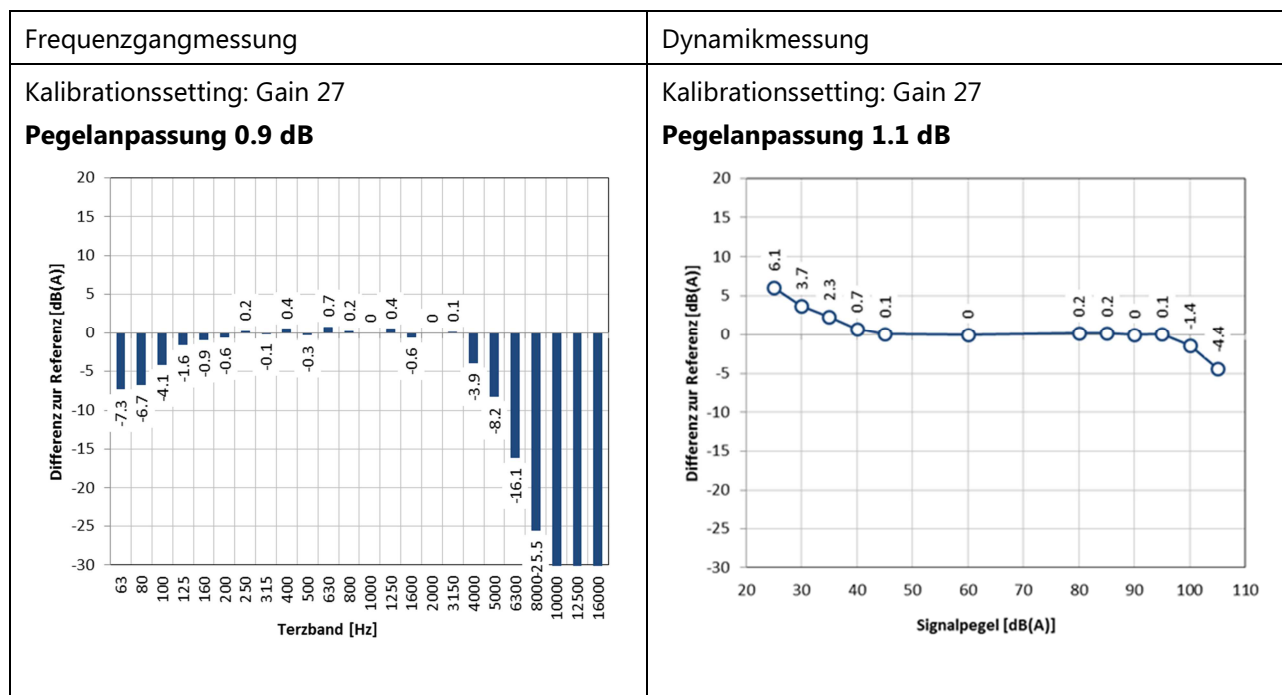
6.2.2 Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



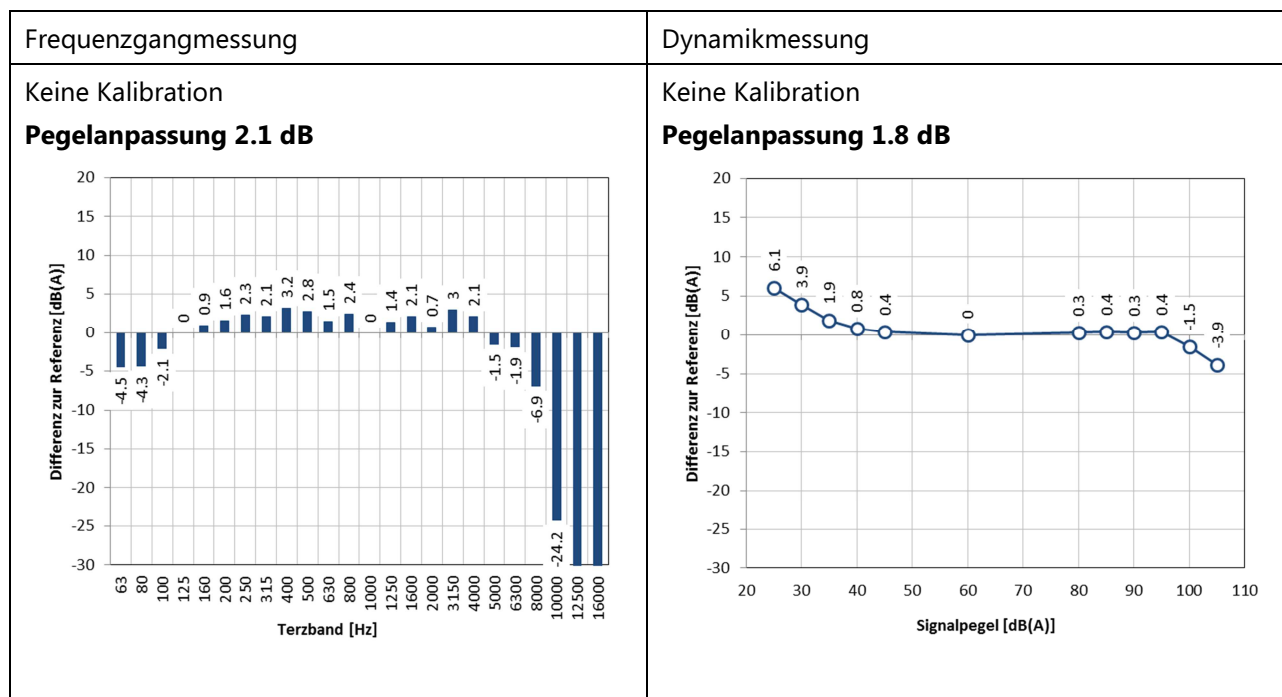
6.2.3 Noise Meter, internes Mikrophon



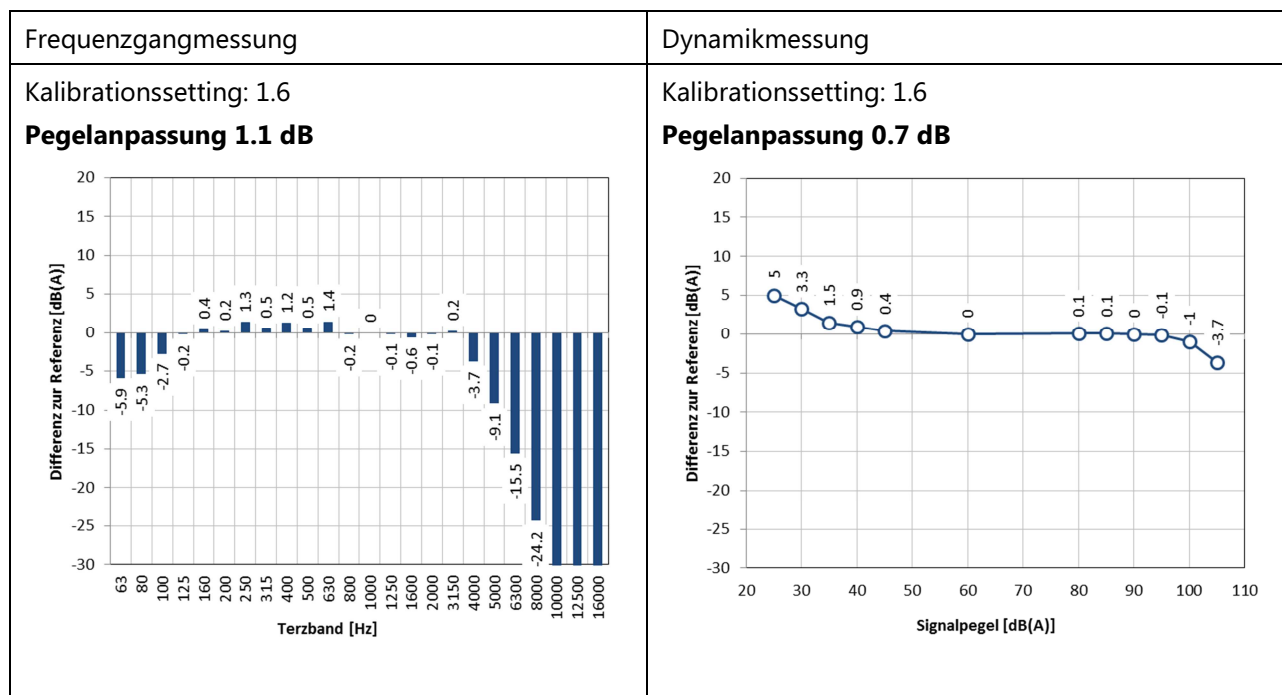
6.2.4 Noise Meter, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



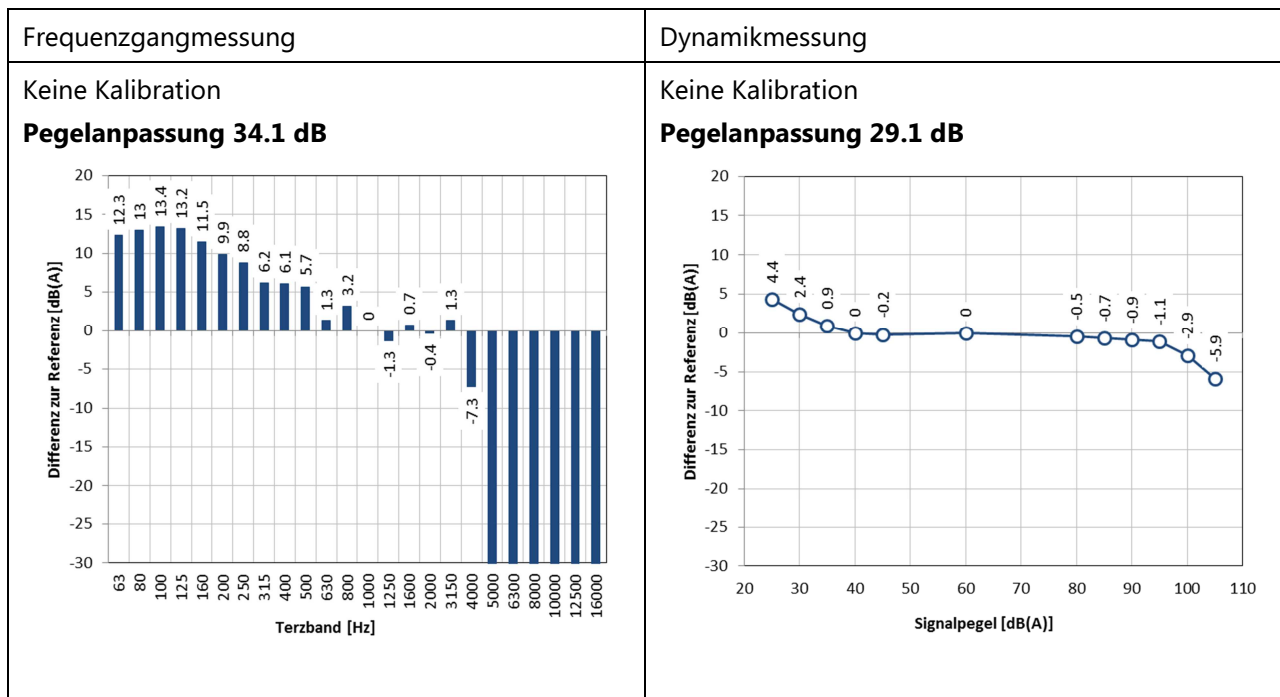
6.2.5 Audio Tool v. 5.8, internes Mikrophon



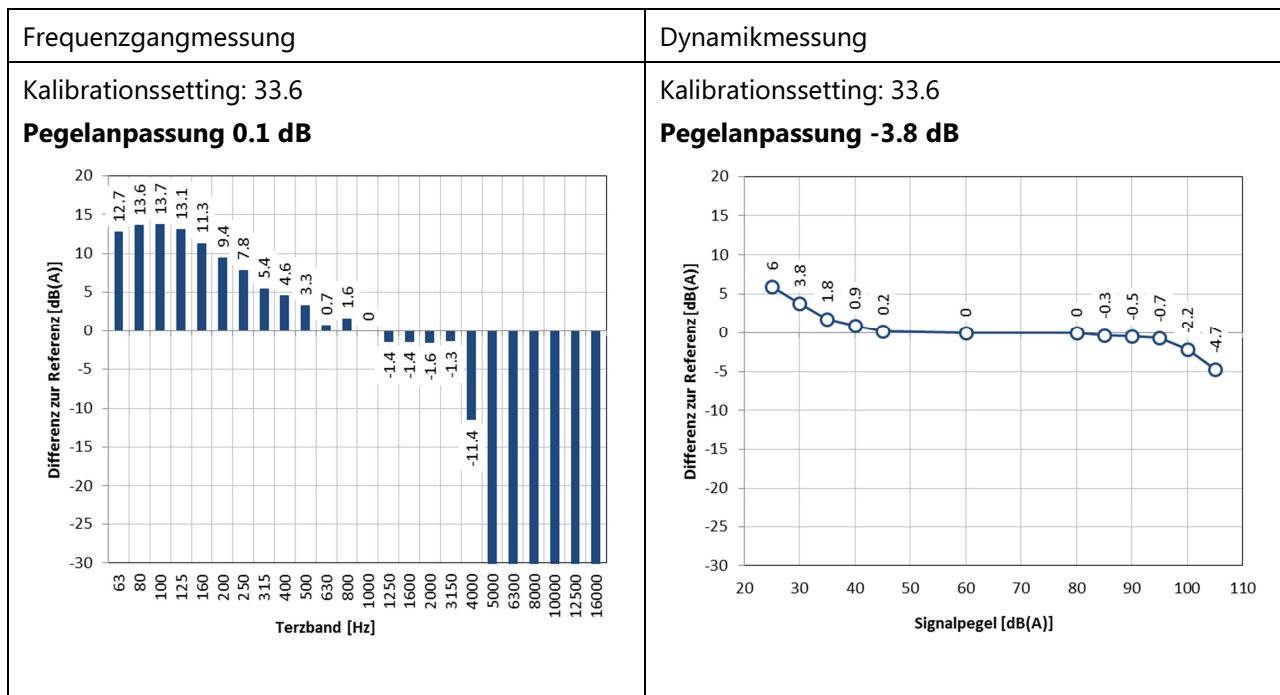
6.2.6 Audio Tool v. 5.8, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



6.2.7 Professional dB, internes Mikrophon

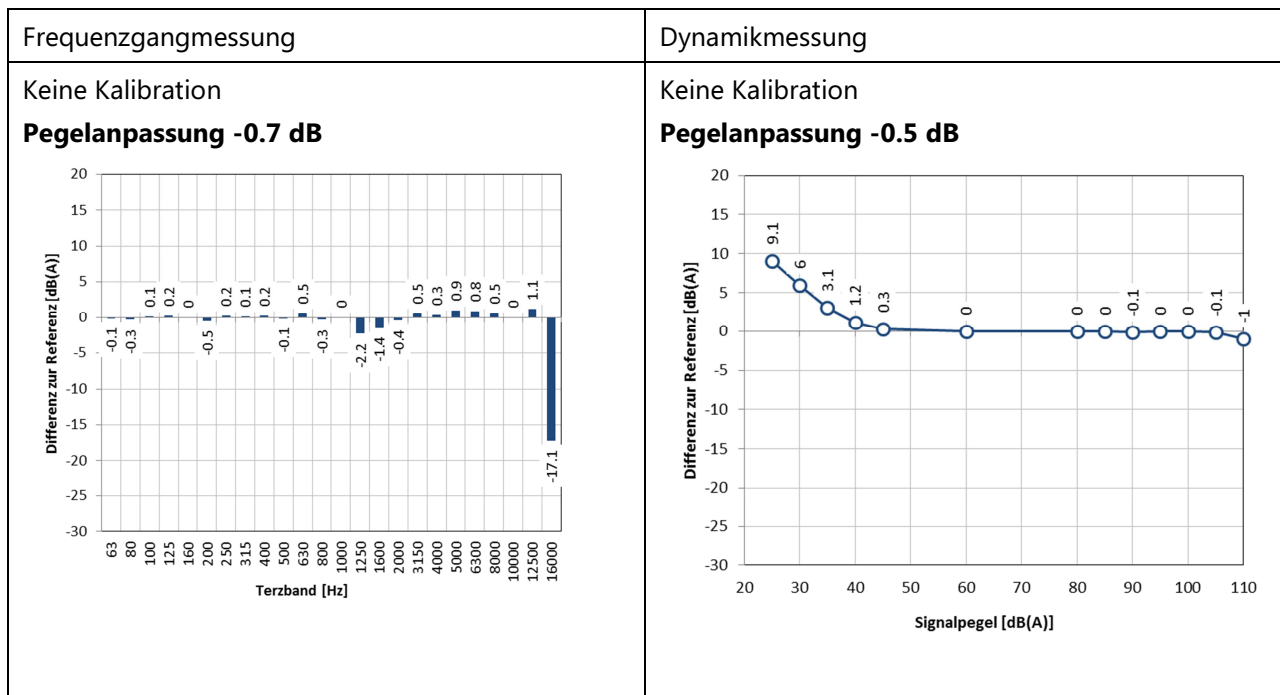


6.2.8 Professional dB, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



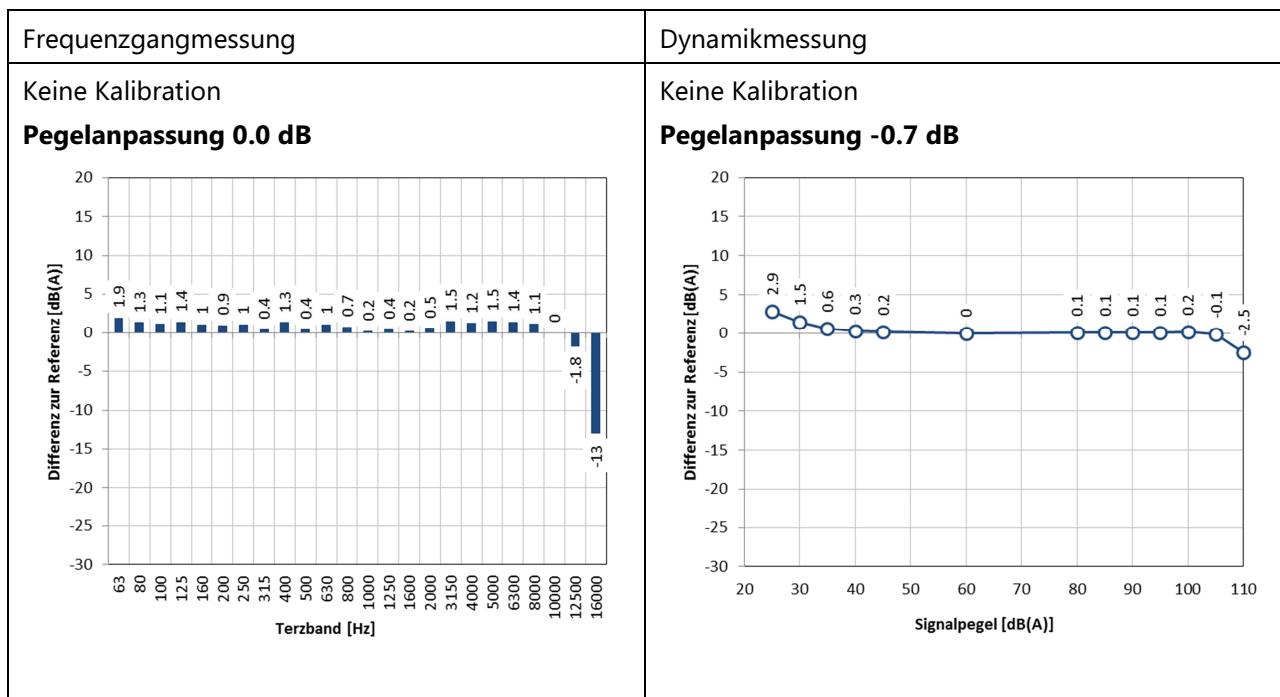
6.3 iPhone 4

6.3.1 Noise Immission Analyzer ver. 1.2, internes Mikrophon, Setting high

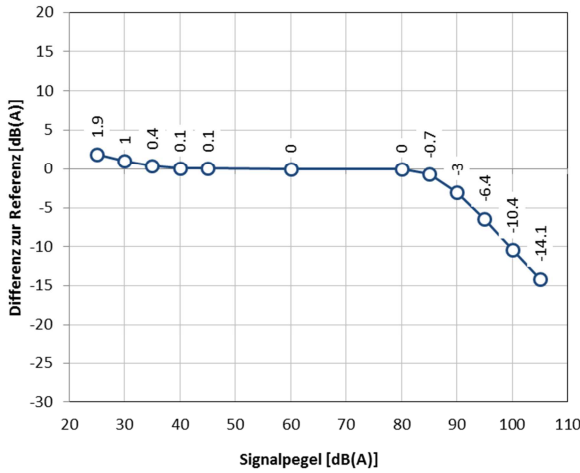


6.4 iPhone 5

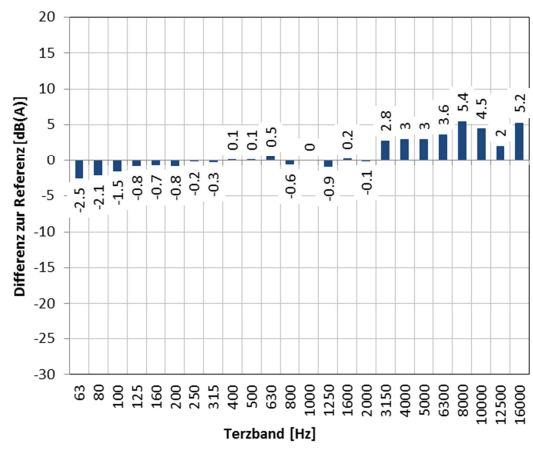
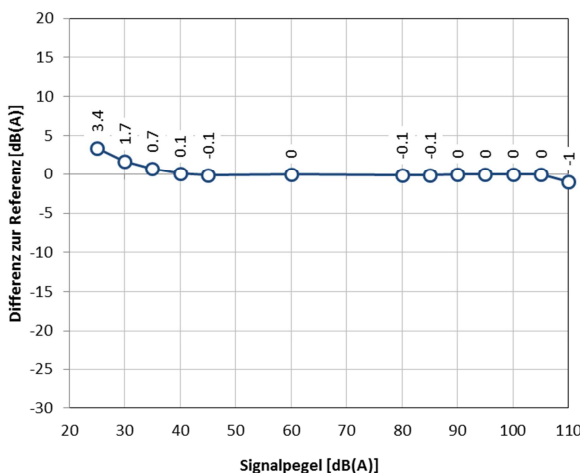
6.4.1 Noise Immissions Analyzer ver. 1.2, internes Mikrophon, Setting high



6.4.2 Noise Immission Analyzer ver. 1.2, internes Mikrophon, Setting low

Frequenzgangmessung	Dynamikmessung
	Keine Kalibration Pegelanpassung -0.6 dB
	

6.4.3 SoundMeter 3.3.1, internes Mikrophon, Calibrate Default: 41.70 Pa/FS, Gain 0

Frequenzgangmessung	Dynamikmessung
Keine Kalibration Pegelanpassung -2.6 dB	Keine Kalibration Pegelanpassung -3.0 dB
	

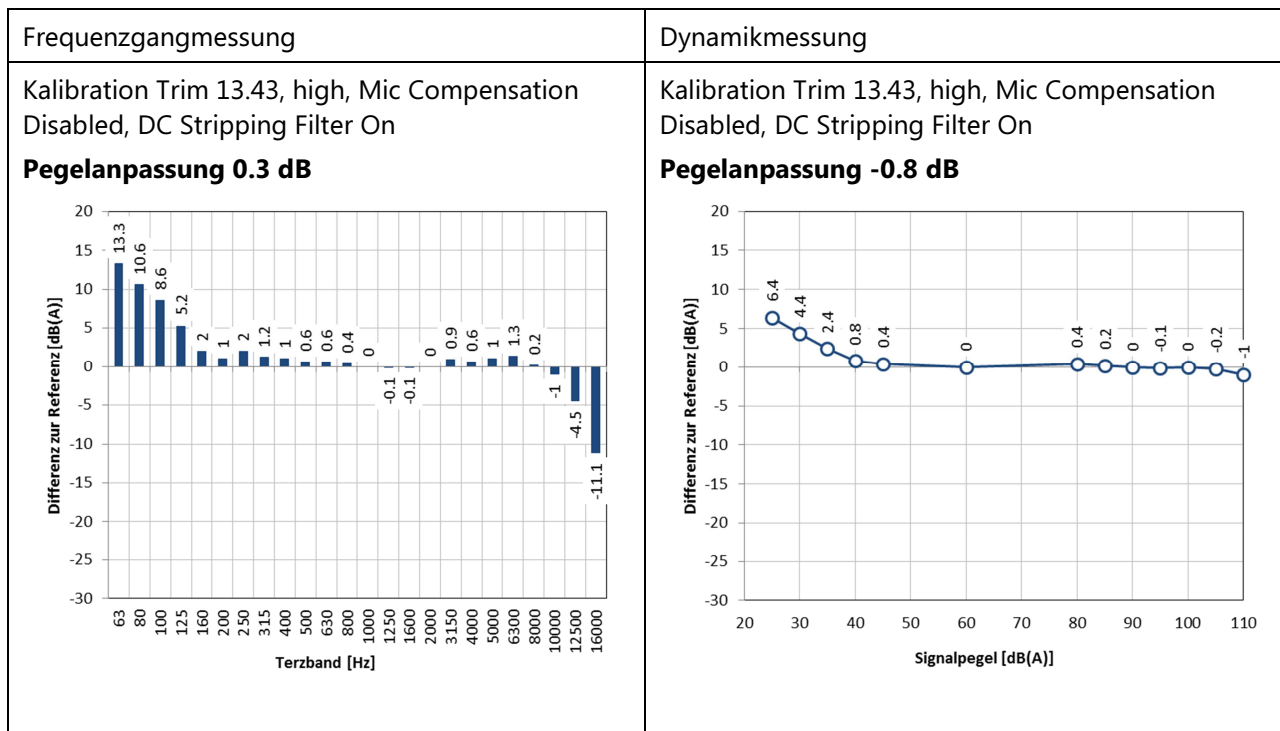
6.4.4 Intermittierendes Rauschen, Noise bzw. SoundMeter

Noise Immission Analyzer ver. 1.2, internes Mikrophon, Setting high, Keine Kalibration Pegelanpassung -0.9 dB	SoundMeter 3.3.1, internes Mikrophon, Calibrate Default: 41.70 Pa/FS, Gain 0 Keine Kalibration Pegelanpassung -3.0 dB
---	---

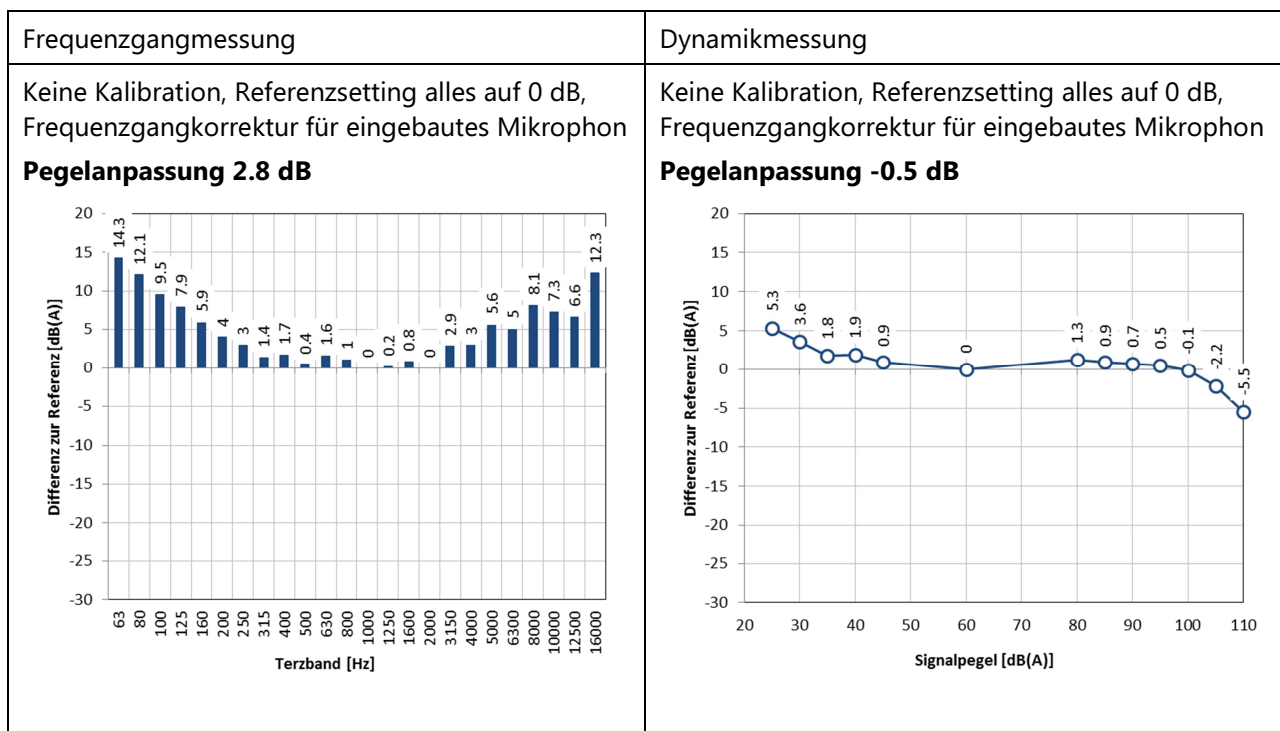
6.4.5 SPL Pro, internes Mikrophon

Frequenzgangmessung Keine Kalibration (default), high, Mic Compensation Enabled, DC Stripping Filter On Pegelanpassung -4.2 dB	Dynamikmessung Keine Kalibration (default), high, Mic Compensation Enabled, DC Stripping Filter On Pegelanpassung -5.3 dB
--	---

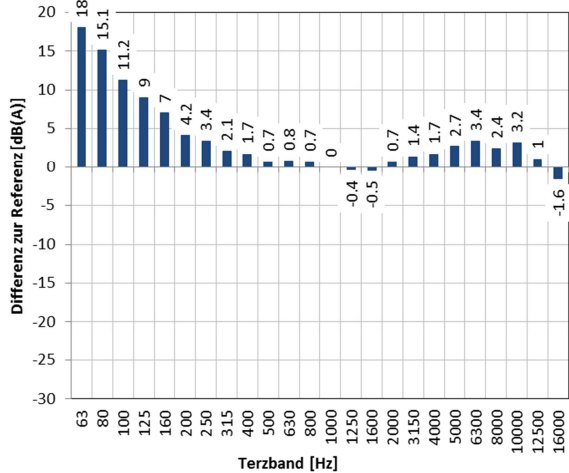
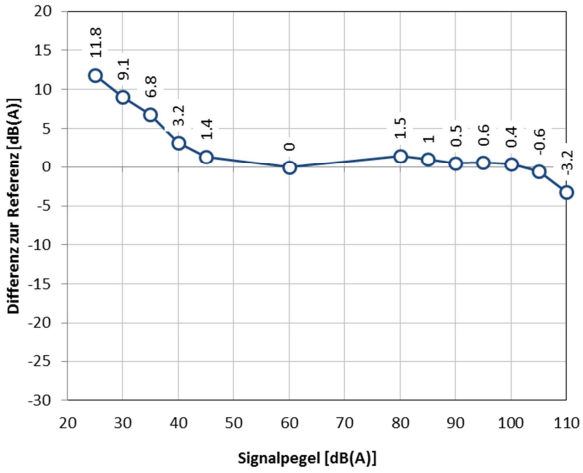
6.4.6 SPL Pro, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812



6.4.7 Analyzer 2.3.2, internes Mikrophon

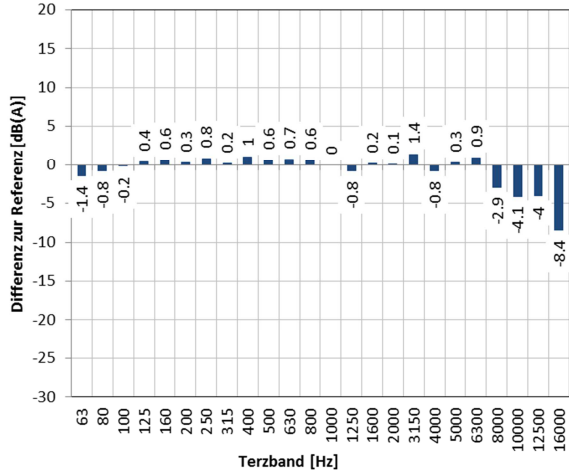
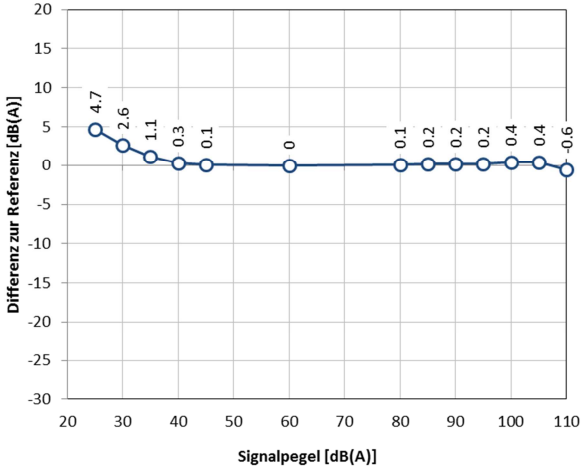


6.4.8 Analyzer 2.3.2, Aufsteckmikrophon i436 S/N 495812

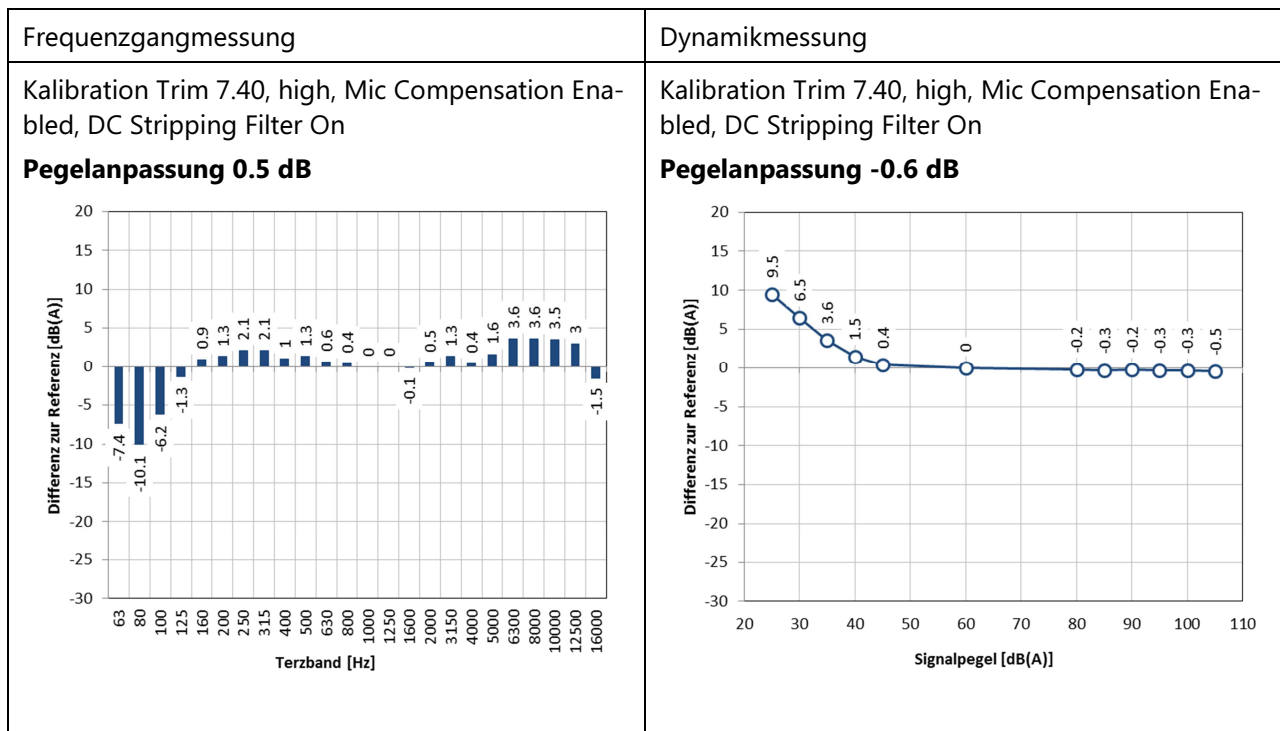
Frequenzgangmessung	Dynamikmessung																																																																														
Keine Kalibration, Referenzsetting alles auf 0 dB, Frequenzgangkorrektur für i436 Pegelanpassung 3.9 dB  <table border="1"> <caption>Frequency Response Correction Data (Pegelanpassung 3.9 dB)</caption> <thead> <tr> <th>Terzband [Hz]</th> <th>Differenz zur Referenz [dB(A)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>63</td><td>18</td></tr> <tr><td>80</td><td>15.1</td></tr> <tr><td>100</td><td>11.2</td></tr> <tr><td>125</td><td>9</td></tr> <tr><td>160</td><td>7</td></tr> <tr><td>200</td><td>4.2</td></tr> <tr><td>250</td><td>3.4</td></tr> <tr><td>315</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>400</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>500</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>630</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>800</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0</td></tr> <tr><td>1250</td><td>-0.4</td></tr> <tr><td>1600</td><td>-0.5</td></tr> <tr><td>2000</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>2500</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>3150</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>4000</td><td>2.7</td></tr> <tr><td>5000</td><td>3.4</td></tr> <tr><td>6300</td><td>2.4</td></tr> <tr><td>8000</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>10000</td><td>1</td></tr> <tr><td>12500</td><td>-1.6</td></tr> <tr><td>16000</td><td>-1.6</td></tr> </tbody> </table>	Terzband [Hz]	Differenz zur Referenz [dB(A)]	63	18	80	15.1	100	11.2	125	9	160	7	200	4.2	250	3.4	315	2.1	400	1.7	500	0.7	630	0.8	800	0.7	1000	0	1250	-0.4	1600	-0.5	2000	0.7	2500	1.4	3150	1.7	4000	2.7	5000	3.4	6300	2.4	8000	3.2	10000	1	12500	-1.6	16000	-1.6	Keine Kalibration, Referenzsetting alles auf 0 dB, Frequenzgangkorrektur für i436 Pegelanpassung -1.2 dB  <table border="1"> <caption>Dynamic Range Correction Data (Pegelanpassung -1.2 dB)</caption> <thead> <tr> <th>Signalpegel [dB(A)]</th> <th>Differenz zur Referenz [dB(A)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>11.8</td></tr> <tr><td>30</td><td>9.1</td></tr> <tr><td>35</td><td>6.8</td></tr> <tr><td>40</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>45</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td></tr> <tr><td>60</td><td>0</td></tr> <tr><td>80</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>90</td><td>1</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>105</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>110</td><td>-3.2</td></tr> </tbody> </table>	Signalpegel [dB(A)]	Differenz zur Referenz [dB(A)]	25	11.8	30	9.1	35	6.8	40	3.2	45	1.4	50	0	60	0	80	1.5	90	1	100	0.5	105	0.6	110	-3.2
Terzband [Hz]	Differenz zur Referenz [dB(A)]																																																																														
63	18																																																																														
80	15.1																																																																														
100	11.2																																																																														
125	9																																																																														
160	7																																																																														
200	4.2																																																																														
250	3.4																																																																														
315	2.1																																																																														
400	1.7																																																																														
500	0.7																																																																														
630	0.8																																																																														
800	0.7																																																																														
1000	0																																																																														
1250	-0.4																																																																														
1600	-0.5																																																																														
2000	0.7																																																																														
2500	1.4																																																																														
3150	1.7																																																																														
4000	2.7																																																																														
5000	3.4																																																																														
6300	2.4																																																																														
8000	3.2																																																																														
10000	1																																																																														
12500	-1.6																																																																														
16000	-1.6																																																																														
Signalpegel [dB(A)]	Differenz zur Referenz [dB(A)]																																																																														
25	11.8																																																																														
30	9.1																																																																														
35	6.8																																																																														
40	3.2																																																																														
45	1.4																																																																														
50	0																																																																														
60	0																																																																														
80	1.5																																																																														
90	1																																																																														
100	0.5																																																																														
105	0.6																																																																														
110	-3.2																																																																														

6.5 iPad

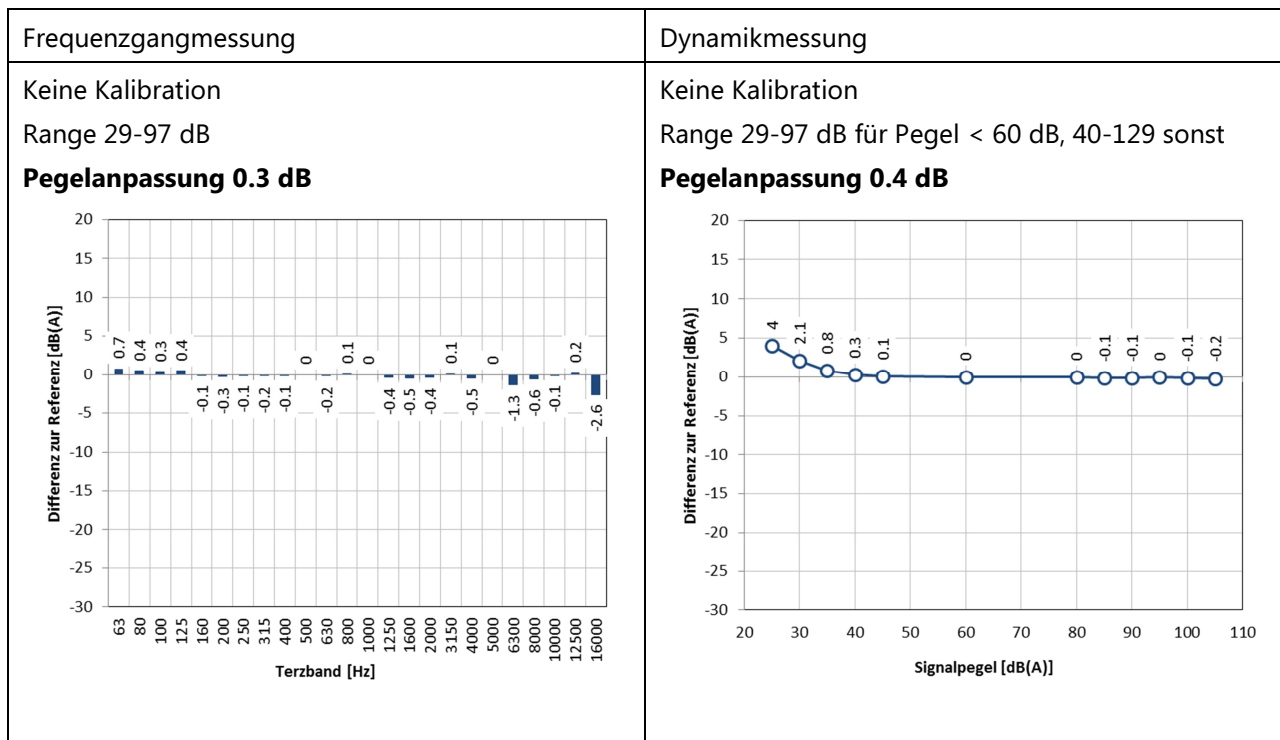
6.5.1 Noise Immission Analyzer ver. 1.2, internes Mikrofon, Setting high

Frequenzgangmessung	Dynamikmessung																																																																														
Keine Kalibration Pegelanpassung 0.6 dB  <table border="1"> <caption>Frequency Response Correction Data (Pegelanpassung 0.6 dB)</caption> <thead> <tr> <th>Terzband [Hz]</th> <th>Differenz zur Referenz [dB(A)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>63</td><td>-1.4</td></tr> <tr><td>80</td><td>-0.8</td></tr> <tr><td>100</td><td>-0.2</td></tr> <tr><td>125</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>160</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>200</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>250</td><td>0.8</td></tr> <tr><td>315</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>400</td><td>1</td></tr> <tr><td>500</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>630</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>800</td><td>0.6</td></tr> <tr><td>1000</td><td>0</td></tr> <tr><td>1250</td><td>-0.8</td></tr> <tr><td>1600</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>2000</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>2500</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>3150</td><td>-0.8</td></tr> <tr><td>4000</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>5000</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>6300</td><td>-2.9</td></tr> <tr><td>8000</td><td>-4.1</td></tr> <tr><td>10000</td><td>-4</td></tr> <tr><td>12500</td><td>-8.4</td></tr> <tr><td>16000</td><td>-8.4</td></tr> </tbody> </table>	Terzband [Hz]	Differenz zur Referenz [dB(A)]	63	-1.4	80	-0.8	100	-0.2	125	0.4	160	0.6	200	0.3	250	0.8	315	0.2	400	1	500	0.6	630	0.7	800	0.6	1000	0	1250	-0.8	1600	0.2	2000	0.1	2500	1.4	3150	-0.8	4000	0.3	5000	0.9	6300	-2.9	8000	-4.1	10000	-4	12500	-8.4	16000	-8.4	Keine Kalibration Pegelanpassung 0.3 dB  <table border="1"> <caption>Dynamic Range Correction Data (Pegelanpassung 0.3 dB)</caption> <thead> <tr> <th>Signalpegel [dB(A)]</th> <th>Differenz zur Referenz [dB(A)]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>4.7</td></tr> <tr><td>30</td><td>2.6</td></tr> <tr><td>35</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>45</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td></tr> <tr><td>60</td><td>0</td></tr> <tr><td>80</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>90</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>105</td><td>0.4</td></tr> <tr><td>110</td><td>-0.6</td></tr> </tbody> </table>	Signalpegel [dB(A)]	Differenz zur Referenz [dB(A)]	25	4.7	30	2.6	35	1.1	40	0.3	45	0.1	50	0	60	0	80	0.1	90	0.2	100	0.2	105	0.4	110	-0.6
Terzband [Hz]	Differenz zur Referenz [dB(A)]																																																																														
63	-1.4																																																																														
80	-0.8																																																																														
100	-0.2																																																																														
125	0.4																																																																														
160	0.6																																																																														
200	0.3																																																																														
250	0.8																																																																														
315	0.2																																																																														
400	1																																																																														
500	0.6																																																																														
630	0.7																																																																														
800	0.6																																																																														
1000	0																																																																														
1250	-0.8																																																																														
1600	0.2																																																																														
2000	0.1																																																																														
2500	1.4																																																																														
3150	-0.8																																																																														
4000	0.3																																																																														
5000	0.9																																																																														
6300	-2.9																																																																														
8000	-4.1																																																																														
10000	-4																																																																														
12500	-8.4																																																																														
16000	-8.4																																																																														
Signalpegel [dB(A)]	Differenz zur Referenz [dB(A)]																																																																														
25	4.7																																																																														
30	2.6																																																																														
35	1.1																																																																														
40	0.3																																																																														
45	0.1																																																																														
50	0																																																																														
60	0																																																																														
80	0.1																																																																														
90	0.2																																																																														
100	0.2																																																																														
105	0.4																																																																														
110	-0.6																																																																														

6.5.2 SPL Pro, Verlängerungskabel, externes Mikrophon i436 S/N 510799



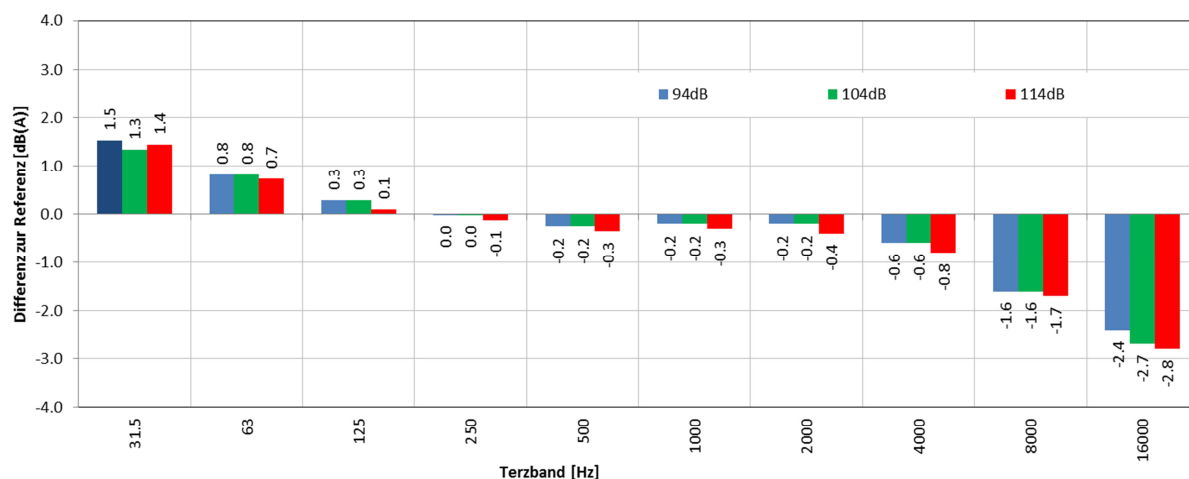
6.6 USB-Mikrophon



Frequenzgangmessung mit Multifunktions-Kalibrator B&K 4226 (Reintonanregung) bei den Pegeln:
 94 dB, 104 dB und 114 dB

Keine Kalibration

Range 40-129 dB



6.7 Windinduzierte Geräusche

Die Tabelle zeigt die jeweils nach drei Pendelperioden abgelesenen Mittelungspegel in dB(A) für die Windgeschwindigkeitsamplituden 2, 3, 4 und 5 m/s.

App / Hardware	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s
Noise Immission Analyzer / iPhone 5 / internes Mikrofon	33	38	45	50
Sound Meter / iPhone 5 mit externem Mikrofon ohne Windschirm	38	48	57	63
Sound Meter / iPhone 5 mit externem Mikrofon mit Windschirm	35	37	43	49
AudioTool / hTC / internes Mikrofon	35	38	47	57
Noise Meter / Samsung / internes Mikrofon	31	34	40	46

7 Diskussion der Messergebnisse einzelner Apps

7.1 Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4

Plattformen: SAMSUNG Galaxy 3S, hTC One

Der Frequenzgang ist sowohl beim SAMSUNG als auch beim hTC nach oben auf rund 3 kHz begrenzt. Ab 4 kHz fällt die Empfindlichkeit stark ab. Die Frequenzgangkurve entspricht einem System, welches mit etwa 10 kHz abtastet und entsprechend das Anti-Aliasing Tiefpassfilter mit einer Grenzfrequenz knapp unter 5 kHz ansetzt. Mit dem internen Mikrofon zeigt der Frequenzgang beim SAMSUNG und beim hTC tieffrequent eine Überhöhung bis 10 dB. Diese Überhöhung bleibt mit dem externen Mikrofon beim hTC erhalten, beim SAMSUNG resultiert eine Absenkung.

Beim SAMSUNG ist die Dynamik mit dem internen Mikrofon gegen oben auf Pegel von rund 80 dB(A) begrenzt. Mit dem externen Mikrofon sind Pegel bis knapp über 100 dB(A) messbar, allerdings verläuft die Pegelskala unterhalb von 60 dB(A) bedeutend nichtlinear, sodass mit dem externen Mikrofon der Pegelbereich auf rund 60 bis 100 dB(A) eingeschränkt ist. Beim hTC zeigen sich in der Dynamik keine Unterschiede zwischen internem und externem Mikrofon. Im Bereich zwischen 40 dB(A) und 90 dB(A) resultieren bedeutende Linearitätsfehler von -5 bis +4 dB(A).

Die Darstellung der Messwerte erfolgt in dieser App mittels Zeigern (Minimum, Maximum, Mittelwert) an deren Enden die Werte ganzzahlig (auf ganze dB gerundet) angeschrieben sind. Bei praktisch stationären Signalen verdecken sich teilweise die Anzeigen des Mittelwerts und des Maximums.

7.2 Noise Meter

Plattformen: SAMSUNG Galaxy 3S, hTC One

Der Frequenzgang beim SAMSUNG ist nach oben bis rund 15 kHz relativ flach. Unterhalb von etwa 400 Hz nimmt die Empfindlichkeit aber deutlich ab, wobei diese Abnahme beim externen Mikrofon noch ausgeprägter ist. Beim hTC ist das Verhalten bei den tiefen Frequenzen etwas besser, allerdings ist der Frequenzgang gegen oben limitiert. Mit dem internen Mikrofon sind Messungen bis 5 kHz in Ordnung, mit dem externen Mikrofon bis etwa 4 kHz.

Das SAMSUNG ist mit internem Mikrofon im Pegelbereich von 25 bis gut 80 dB(A) einsetzbar. Mit externem Mikrofon reicht die Pegelobergrenze bis über 100 dB(A), zeigt aber unterhalb von 60 dB(A) eine ausgeprägte Unregelmässigkeit, d.h. hier ist der Messbereich auf 60 bis 100 dB(A) eingeschränkt. Beim hTC

erstreckt sich der brauchbare Dynamikbereich von rund 30 bis 100 dB(A), sowohl mit internem als auch externem Mikrofon.

7.3 Audio Tool v. 5.8

Plattformen: SAMSUNG Galaxy 3S, hTC One

Der Frequenzgang des SAMSUNGs erstreckt sich nach oben bis rund 15 kHz, zeigt aber gegen tiefe Frequenzen unter 250 Hz eine bedeutende Abnahme der Empfindlichkeit. Das interne Mikrofon weist überdies im Frequenzbereich von 3 bis 8 kHz eine deutliche Überhöhung auf. Ab 100 Hz zeigt das hTC einen relativ flachen Frequenzgang, der sich allerdings gegen oben nur bis 4 kHz (externes Mikrofon) bzw. 6.3 kHz (internes Mikrofon) erstreckt.

Die Dynamik zeigt sowohl beim SAMSUNG als auch beim hTC den erwarteten Verlauf mit der Begrenzung gegen unten durch das Eigenrauschen und gegen oben durch die Limitierung der maximal verarbeitbaren Amplitude. Mit dem internen und mit dem externen Mikrofon ist bei beiden Geräten der nutzbare Dynamikbereich ca. 35 bis 100 dB(A).

7.4 Professional dB

Plattformen: SAMSUNG Galaxy 3S, hTC One

Auf dem SAMSUNG verhält sich die App sowohl was den Frequenzgang als auch was die Dynamik anbelangt praktisch identisch wie die „Lärmmessung, Sound Meter Pro 2.4“. Auch auf dem hTC sind die Frequenzgangeigenschaften sehr ähnlich jenen der „Lärmmessung, Sound Meter Pro 2.4“. Bedeutend besser verhält sich aber „Professional dB“ in der Amplituden-Linearität (Dynamik). Die „Average“ Bildung von „Professional dB“ entspricht nicht einem Leq, was die App letztlich unbrauchbar macht.

7.5 Noise Immission Analyzer ver. 1.2

Plattformen: iPhone 4, iPhone 5 und iPad

Sowohl auf dem iPhone 4, dem iPhone 5 als auch auf dem iPad ist der Frequenzgang ausgezeichnet. Lediglich bei den ganz hohen Frequenzen (ab 10 kHz beim iPad und ab 16 kHz beim iPhone 4 und 5) nimmt die Empfindlichkeit ab. Ebenso ist das Dynamikverhalten sehr gut. Das iPhone 4 hat gegenüber dem iPhone 5 ein etwas erhöhtes Eigenrauschen. Mit der Bereichseinstellung „high“ resultiert beim iPhone 5 ein Umfang von 25/30 bis 110 dB(A). Die Bereichseinstellung „low“ verbessert zwar geringfügig das Rauschen

am unteren Ende, begrenzt aber nach oben bereits ab 90 dB(A). Diese Einstellung ist deshalb nicht zu empfehlen. Man beachte, dass „Noise Immission Analyzer“ nur mit dem eingebauten Mikrophon arbeitet. Der Test mit intermittierendem Rauschen stimmt nahezu perfekt mit der Referenz überein und gibt keinerlei Hinweise auf Dynamikkompressionen.

7.6 SoundMeter 3.3.1

Plattform: iPhone 5

Bis zu 4 kHz ist der Frequenzgang ausgezeichnet, oberhalb von 5 kHz ist die Empfindlichkeit etwas erhöht. Das Dynamikverhalten ist sehr gut. Der Test mit intermittierendem Rauschen stimmt nahezu perfekt mit der Referenz überein und gibt keinerlei Hinweise auf Dynamikkompressionen.

7.7 SPL Pro

Plattformen: iPhone 5 und iPad

Der Frequenzgang ist zwischen 125 und 12.5 kHz relativ flach. Abhängig vom verwendeten Mikrophon zeigen sich zwischen 5 und 12.5 kHz leichte Überhöhungen. Die Amplitudenlinearität (Dynamik) wird nur gegen unten durch das Eigenrauschen von limitiert. Am besten schneidet das interne Mikrophon am iPhone mit 25 dB(A), am schlechtesten das externe Mikrophon am iPad mit 35 dB(A) ab.

7.8 Analyzer 2.3.2

Plattform: iPhone 5

Der Frequenzgang ist sowohl mit internem wie mit externem Mikrophon unausgeglichen mit einer bedeutenden Überhöhung gegen tiefe und hohe Frequenzen. Mit 2.8 bzw. 3.9 dB ist die notwendige Pegelkorrektur für eine Anpassung bei 1 kHz relativ gross. Die Dynamikmessung zeigt einen befriedigenden Verlauf, lediglich bei tiefen Pegeln macht sich das Eigenrauschen bemerkbar, wobei hier das interne Mikrophon etwas besser als das externe abschneidet. Breitbandig ist die Absolutpegelübereinstimmung mit -0.5 dB bzw. -1.2 dB gut.

Die App erlaubt auch eine spektrale Darstellung des Mikrophonsignals. Hier fällt allerdings eine Diskrepanz in der Beschriftung der Frequenzachse auf. Eine exemplarisch Anregung mit einem Reinton von 10 kHz ergab eine Frequenzschätzung von rund 9.2 kHz.

7.9 USB Mikrofon mit AkuLap

Der Frequenzgang verläuft bis 12.5 kHz sehr flach. Die Amplitudenlinearität (Dynamik) wird nur gegen unten durch das Eigenrauschen von rund 29 dB(A) limitiert. Gegen oben hat das Mikrofon Reserve. Die Messungen mit dem Multifunktionskalibrator reproduzieren bei Anregung mit 94 dB, 104 dB und 114 dB jeweils die 10 dB-Schritte frequenzunabhängig sehr genau.

8 Fazit

8.1 Apps

Mit Abstand die besten Ergebnisse zeigt die App „Noise Immission Analyzer, ver. 1.2“ auf dem iPhone und mit leichten Abstrichen auf dem iPad. Die App funktioniert nur mit dem eingebauten Mikrofon. Nebst dem ausgezeichneten Frequenzgang und Dynamikverhalten ist die absolute Pegelgenauigkeit (kleiner als 1 dB(A)! bei allen drei Geräten: iPhone 4, iPhone 5 und iPad) positiv hervorzuheben. Konsequenterweise wird in der App die Kalibration als spezieller Vorgang dargestellt und soll nur in Ausnahmefällen ausgeführt werden. Dies stellt einen bedeutenden Zuverlässigkeitsfaktor dar. Im Frequenzbereich zwischen 63 Hz und 13 kHz und im Pegelbereich zwischen 30 und 110 dB(A) kann die instrumentenbedingte Messunsicherheit einer Leq-Bestimmung auf 1 bis 2 dB(A) abgeschätzt werden.

Mit einer grösseren Unsicherheit verbunden aber noch brauchbar sind „SoundMeter 3.3.1“ auf dem iPhone 5 und „SPL Pro“ auf dem iPhone 5 und dem iPad. Beide Apps zeigen Abweichungen im Frequenzgang (bis 5 dB) und Fehler im Absolutpegel. Der Dynamikumfang erstreckt sich von rund 30 bis 110 dB(A). Mit vergleichbarem Dynamikumfang, guter Absolutpegelgenauigkeit (breitbandig) aber relativ schlechtem Frequenzgang präsentiert sich „Analyzer 2.3.2“ nur in einem mittleren Frequenzbereich als nützlich.

Auf dem SAMSUNG zeigen „Noise Meter“ **nur** mit internem Mikrofon und „Audio Tool v 5.8“ mit internem und externem Mikrofon passable Eigenschaften. „Noise Meter“ ist allerdings nicht einsetzbar für Frequenzen unter 250 Hz und Pegel über 80 dB(A). Auch bei „Audio Tool v 5.8“ ist der Frequenzbereich gegen unten auf 250 Hz begrenzt, die Dynamikobergrenze liegt aber etwas höher bei 95 bis 100 dB(A). „Audio Tool v 5.8“ zeigt mit dem internen Mikrofon im Frequenzbereich zwischen 3 und 10 kHz eine Überhöhung von bis zu 7 dB.

Auf dem hTC zeigen ebenfalls nur „Noise Meter“ und „Audio Tool v 5.8“ passable Eigenschaften. Der brauchbare Frequenzbereich erstreckt sich von rund 100 Hz bis 4 kHz (mit externem Mikrofon) bzw. bis 6 kHz (mit internem Mikrofon). Der Dynamikbereich ist typisch 30 bis etwas über 100 dB(A).

Unbrauchbar sind „Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4“ und „Professional dB“ sowohl auf dem SAMSUNG als auch auf dem hTC.

Das USB Mikrofon mit AkuLap zeigt eine sehr gute Frequenzganglinearität und weist dank Verstellbarkeit des Messbereichs ebenfalls einen sehr guten Dynamikumfang auf. Im Vergleich zu einem klassischen Messmikrofon ist lediglich das relativ hohe Eigenrauschen von rund 29 dB(A) zu bemängeln. Mit der Default Einstellung der Mikrofonempfindlichkeit wurde ohne Kalibration eine absolute Pegelgenauigkeit besser als 0.5 dB erreicht.

Die folgende Tabelle zeigt in einer Übersicht die festgestellten Einsatzbereiche der verschiedenen Apps.

App / Hardware	Pegelbereich	Frequenzbereich	Messgrössen	Kalibration
Lärm-Messung, Sound Meter Pro 2.4 / SAMSUNG / hTC	<i>unbrauchbar</i>			
Noise Meter / SAMSUNG nur mit internem Mik	25..80	250..12500	L(t),Leq,Lmin,Lmax	notwendig
Noise Meter / hTC nur mit internem Mik	30..100	125..5000	L(t),Leq,Lmin,Lmax	notwendig
Audio Tool / SAMSUNG nur mit externem Mik	35..95	300..12500	L(t),Leq,Spec	notwendig
Audio Tool / hTC nur mit internem Mik	35..100	100..7000	L(t),Leq,Spec	notwendig
Professional dB / SAMSUNG / hTC	<i>unbrauchbar</i>			
Noise Immission Analyzer / iPhone 4	35..110	63..12500	L(t),Leq,Lmin,Lmax	unnötig
Noise Immission Analyzer / iPhone 5	25..110	63..12500	L(t),Leq,Lmin,Lmax	unnötig
Noise Immission Analyzer / iPad	30..110	63..8000	L(t),Leq,Lmin,Lmax	unnötig
SoundMeter / iPhone 5	30..110	63..6000	L(t),Leq,Lmax	notwendig
SPL Pro / iPhone 5 / iPad	30..110	160..6300	L(t),Leq,Lmax	notwendig
Analyzer 2.3.2 / iPhone 5	30..105	250..4000	L(t), Leq, Lmax, Spec	unnötig

8.2 Mikrofon

Gegenüber dem eingebauten internen Mikrofon hat das externe, aufsteckbare Mikrofon i436 bei keinem Gerät und mit keiner App eine entscheidende Verbesserung ergeben. Tendenziell zeigt das externe Mikrofon einen etwas ausgeglicheneren Frequenzgang bei ganz hohen Frequenzen, auf der anderen Seite liegt das Eigenrauschen beim externen Mikrofon höher. Ein Vorteil des i436 liegt in der Kalibriermöglichkeit mit einem 94 dB Kalibrator. Allerdings ist zu beachten, dass dieser Kalibrierpegel für einige Anwendungen bereits an der oberen Dynamikgrenze liegt und dadurch Kalibrationsfehler für den mittleren Pegelbereich von rund 1 dB(A) entstehen können.

8.3 Kalibration

Die App „Noise Immission Analyzer v. 1.2“ auf dem iPhone 4, iPhone 5 und iPad mit internem Mikrofon ist die einzige, die ohne Kalibration den Absolutpegel auf 1 dB genau anzeigt. Breitbandig ebenfalls besser als 1 dB ist auf dem iPhone 5 „Analyzer 2.3.2“, die Frequenzgangkalibration bei 1 kHz weicht allerdings um knapp 3 dB ab. Bei allen anderen Apps sind die Abweichungen generell grösser als 1 dB. Mit dem internen Mikrofon und Default Einstellungen ergaben sich folgende Absolutpegelabweichungen (Pegelskorrekturen):

- SAMSUNG Noise Meter: 8.1 bzw. 5.8 dB
- SAMSUNG Audio Tool v5.8: -5.8 bzw. -6.5 dB
- hTC One Noise Meter: 27.1 bzw. 26.8 dB
- hTC One Audio Tool v5.8: 2.1 bzw. 1.8 dB
- iPhone 4 Noise Immission Analyzer v. 1.2: -0.7 bzw. -0.5 dB
- iPhone 5 Noise Immission Analyzer v. 1.2: 0.0 bzw. -0.7 dB
- iPhone 5 SoundMeter 3.3.1: -2.6 bzw. -3 dB
- iPhone 5 SPL Pro: -4.2 bzw. -5.3 dB
- iPhone 5 Analyzer 2.3.2: 2.8 bzw. -0.5 dB
- iPad Noise Immission Analyzer v. 1.2: 0.6 bzw. 0.3 dB
- USB Mikrofon mit AkuLap: 0.3 bzw. 0.4 dB

8.4 Empfindlichkeit auf Windgeräusche

Im Vergleich zu Schallpegelmessern mit richtigen und entsprechend voluminösen Windschirmen zeigen die Smartphone-Mikrophone deutlich höhere Windgeräuschempfindlichkeiten. Bei einer Windgeschwindigkeitsamplitude von 5 m/s erhöht sich das „Eigenrauschen“ beim *Noise Meter / Samsung mit internem Mikrofon* auf 46 dB(A), beim *iPhone 5 mit internem oder externem Mikrofon mit Windschirm* auf 50 dB(A) und beim *AudioTool / hTC mit internem Mikrofon* auf 57 dB(A). Am schlechtesten verhält sich das externe Mikrofon ohne Windschirm. Im gleichen Experiment ergab sich mit dem Schallpegelmesser B&K 2238 ein „Eigenrauschen“ von 35 dB(A). Das vergleichsmässig gute Abschneiden des *Noise Meter / Samsung* ist auf die Hochpassfilterung, die den Frequenzgang nach unten auf 250 Hz begrenzt, zurückzuführen.

Beim iPhone reduziert das externe Mikrofon mit Windschirm gegenüber dem internen Mikrofon die Empfindlichkeit auf Windgeräusche nur geringfügig um rund 2 dB(A).

Generell können im Freien bei typischen Windgeschwindigkeiten von 2..3 m/s mit den Smartphones nur Schalldruckpegel grösser als ca. 40 dB(A) zuverlässig gemessen werden.

8.5 Beurteilung der Qualität einer Smartphone App

Anhand der von den App-Herstellern verfassten Spezifikationen kann nur geprüft werden, ob die gewünschten Funktionen wie z.B. A-Bewertung, Mittelung, Kalibration verfügbar sind. Wie sich gezeigt hat, gehen die Apps auf dem gleichen Smartphone unterschiedlich mit dem Mikrophonsignal um. Hierbei stellt sich die Frage, ob eine App das geeignetste Format vom A/D Wandler bezieht, wie die digitalen Filter implementiert sind, wie die Mittelwertbildung berechnet wird und welches Wissen über die frequenzabhängige Mikrofonempfindlichkeit verwendet und wie diese kompensiert wird. Für eine verlässliche Qualitätsbeurteilung ist eine Labormessung unabdingbar.