



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI

**Bundesamt für Gesundheit BAG**  
Direktionsbereich Verbraucherschutz

---

## **Klärung messtechnischer Fragen für den Vollzug der Schall- und Laserverordnung**

---

Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS  
Bundesamt für Gesundheit BAG  
03.2014



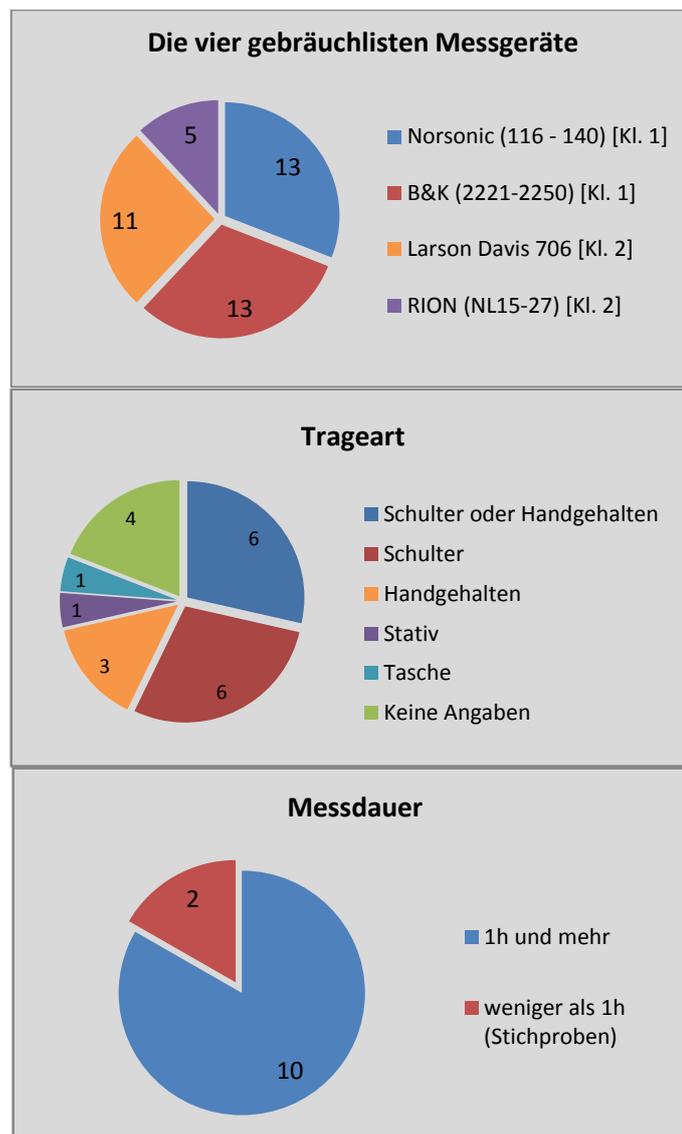
## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Schriftliche Umfrage bei den Kantone</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Messvergleiche Echofreier Raum</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Messvergleiche Diffusfeld (Club)</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>19</b>

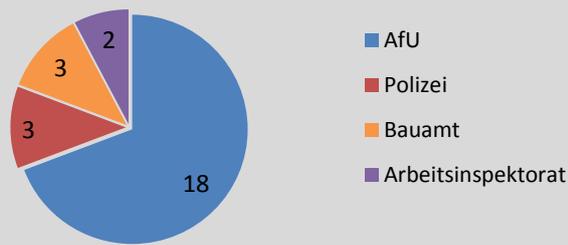
## 1 Einleitung

Im Vollzug der Schall- und Laserverordnung (SLV) gibt es einige offene Fragen, welche sich vorwiegend auf die Probleme in der Messmethodik beziehen und im vorliegenden Projekt bearbeitet und geklärt werden sollen. Die Vollzugsbehörden sind während ihren Messkontrollen immer wieder mit Situationen konfrontiert, bei welchen ermittelte Messwerte von den Resultaten der Veranstalter abweichen können. Durch verschiedene Tragearten des Messmikrophons - nahe am Körper, verdeckt auf der Schulter, in der Tasche, etc. - steht die messende Person im Verdacht, die Genauigkeit der Messungen zu beeinflussen. Da bis heute diese Effekte kaum quantifiziert wurden, soll durch das Projekt, welches durch das Bundesamt für Gesundheit (BAG) in Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) durchgeführt wurde, unter anderem untersucht werden, wie die Vollzugsbehörden tatsächlich arbeiten und welche Einflussfaktoren ein Messresultat aus der Praxis beeinträchtigen. Zur Klärung dieser Fragen wurde einerseits eine Umfrage an die Kantone verschickt. Andererseits wurden die Vollzugsbeamten vor Ort begleitet und teilweise wurde versucht, Störungen und Abweichungen gezielt zu provozieren. In einem weiteren Teil wurden die relevanten Messgeräte und Mikrofon-Fixierungen sowohl im Labor als auch in einem Club bei reproduzierbarer Beschallung untersucht. Abschliessend dient dieses Projekt auch zur Ermittlung von Möglichkeiten, neben dem rechtlich relevanten Grenzwert  $L_{Aeq1h}$  weitere Messgrössen zu eruieren, welche als Grenzwert geeignet sein könnten und nach Möglichkeit über kürzere Zeit-Intervalle ermittelt werden können.

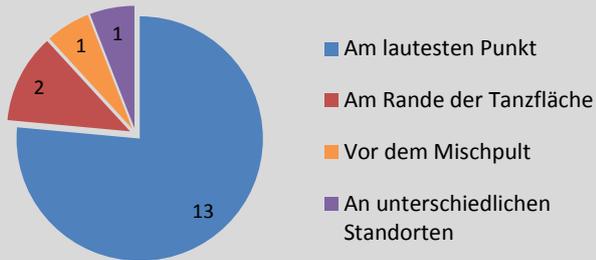
## 2 Schriftliche Umfrage bei den Kantone



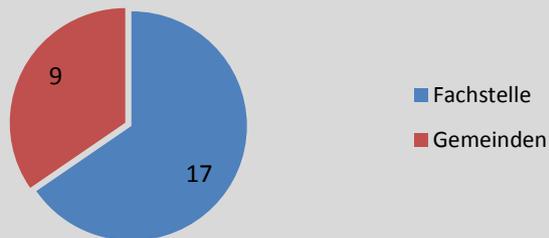
### SLV-Fachstellen



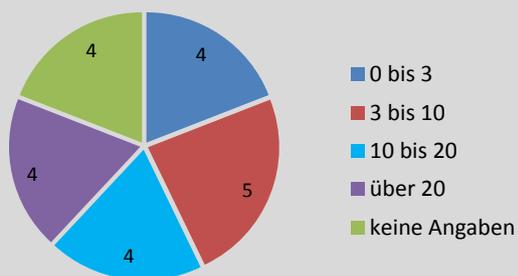
### Messort



### Vollzug



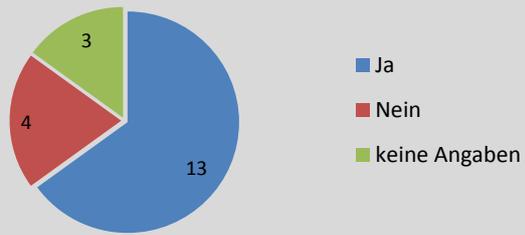
### SLV-Messungen pro Jahr und Kanton



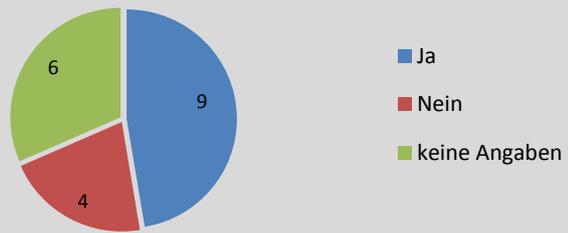
### Diskrepanz Eigene Messung - Veranstalter



### Kontrolle von Veranstaltungen mit Aufzeichnungen



### Probleme während SLV-Messung



### 3 Messvergleiche Echofreier Raum

Es ist bekannt, dass bei Schallmessungen Rückwirkungen der Messinfrastruktur auf die zu messende Grösse auftreten können und dadurch die Genauigkeit der Messung beeinträchtigen. Die Gehäuse von Schallpegelmessern werden speziell mit einer konischen Front designt, um die Reflexionen vom Gerät zu minimieren. Um die Reproduzierbarkeit von Präzisionsmessungen weiter erhöhen zu können, resp. um die Mess-Unsicherheit zu minimieren, werden auch Verlängerungsstücke und –kabel angeboten um den Gehäuse-Einfluss auf den zu messenden Schalldruck zusätzlich zu reduzieren. Hersteller weisen auch darauf hin, dass der Körper des Geräte-Anwenders seinerseits wie ein Reflektor wirke und das Instrument "eine Armlänge" (oder 50 cm) vom Körper weg gehalten werden solle (siehe beispielsweise die Einführung von B&K zur Schallmessung: "measuring sound" von 1984, <http://www.bksv.com/doc/br0047.pdf>).

Obwohl diese Massnahmen in einer Vielzahl von Situationen die Qualität einer Messung verbessern können, sind sie im Kontext der SLV nicht umsetzbar. Hier soll die Immission an dem Ort ermittelt werden, an welchem das Publikum dem Schall am stärksten ausgesetzt ist (Ermittlungsort). Zusätzlich sollen die Messungen über eine Dauer von 1h ohne Unterbruch vorgenommen werden. Eine solche Messung kann in der Praxis (Event mit Publikum) nur verdeckt durchgeführt werden (wie es auch in der Umfrage an die Vollzugsorgane bestätigt wurde – siehe Punkt 2).

In diesem Fall stellt sich die Frage, wie stark das Messergebnis verfälscht werden kann, wenn das Messmikrophon – entgegen den Hersteller-Empfehlungen - am Körper getragen wird.

Um den Einfluss von Körper-Reflexionen auf das Messergebnis zu untersuchen, wurden zunächst im echofreien Raum des METAS Schallmessungen mit den am häufigsten verwendeten Geräte-Konfigurationen vorgenommen. Zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Messungen wurde anstelle einer lebenden Person eine (normal angezogene) Schaufensterpuppe mit den Messgeräten ausgestattet und auf einem Drehtisch montiert. Während die Geometrie der Puppe durchaus realistisch war, weist sie konstruktionsbedingt schallhärtere Oberflächen auf, als eine menschliche Person. Dadurch ist zu erwarten, dass die zu messenden Effekte tendenziell eher noch verstärkt werden.



Abb. 17: Puppe mit Instrumentierung auf Drehtisch



Abb. 18: Befestigung des 1/4 " Mikrophons auf der Schulter

Die im Folgenden dargestellten Messungen wurden mit Reintönen aufgenommen. Die Puppe war jeweils so aufgestellt, dass das Messmikrofon auf der (vertikalen) Drehachse zu liegen kam. Das Schallfeld war auf 70 dB eingepegelt. Die Nullgrad-Richtung war so festgelegt, dass das Mikrofon in Richtung Schallquelle wies – die Puppe drehte sich dann (von oben betrachtet) im Uhrzeigersinn.

Um den Einfluss der Puppe auf das Schallfeld deutlich zu machen (und von der Richtcharakteristik des Mikrophons zu trennen) wurden zum Vergleich auch Messungen ohne dieselbe vorgenommen. Auch hier war die Aufstellung so, dass die Achse des Drehtischs durch das Messmikrofon verlief.



Abb. 19: Aufstellung des Messmikrophons ohne Puppe.



Abb. 20: Detail-Ansicht der Mikrophon-Halterung ohne Puppe

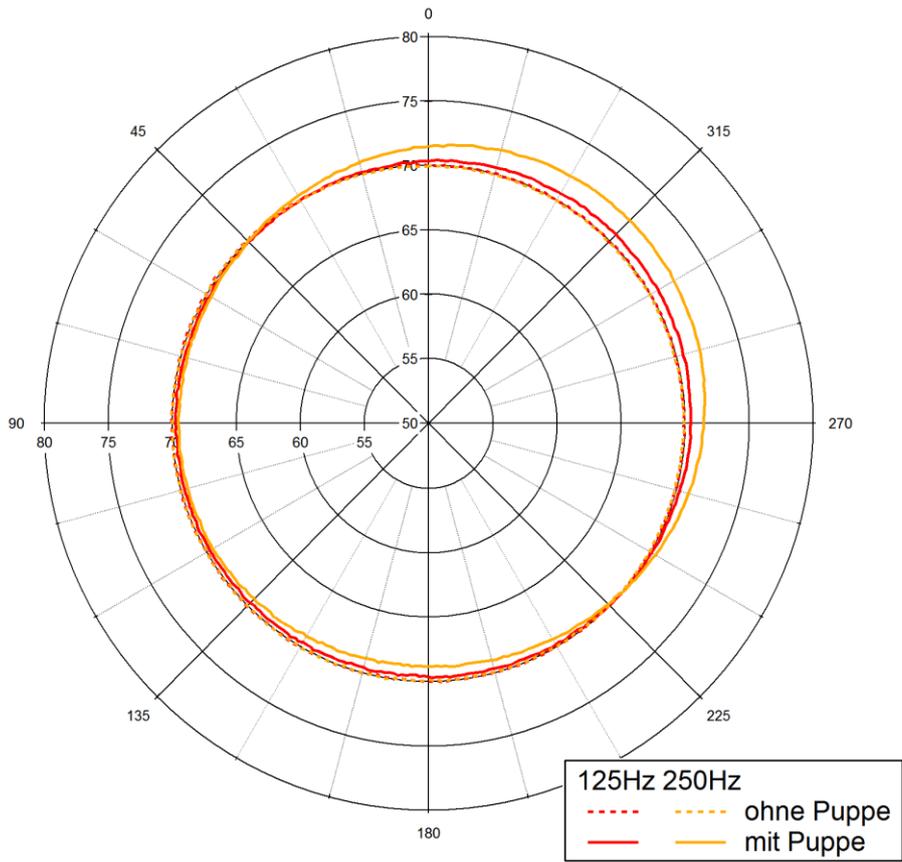


Abb. 21: Winkel-abhängiger Einfluss der Puppe auf die Messung des Schallfeldes bei Reintönen von 125 Hz und 250 Hz.

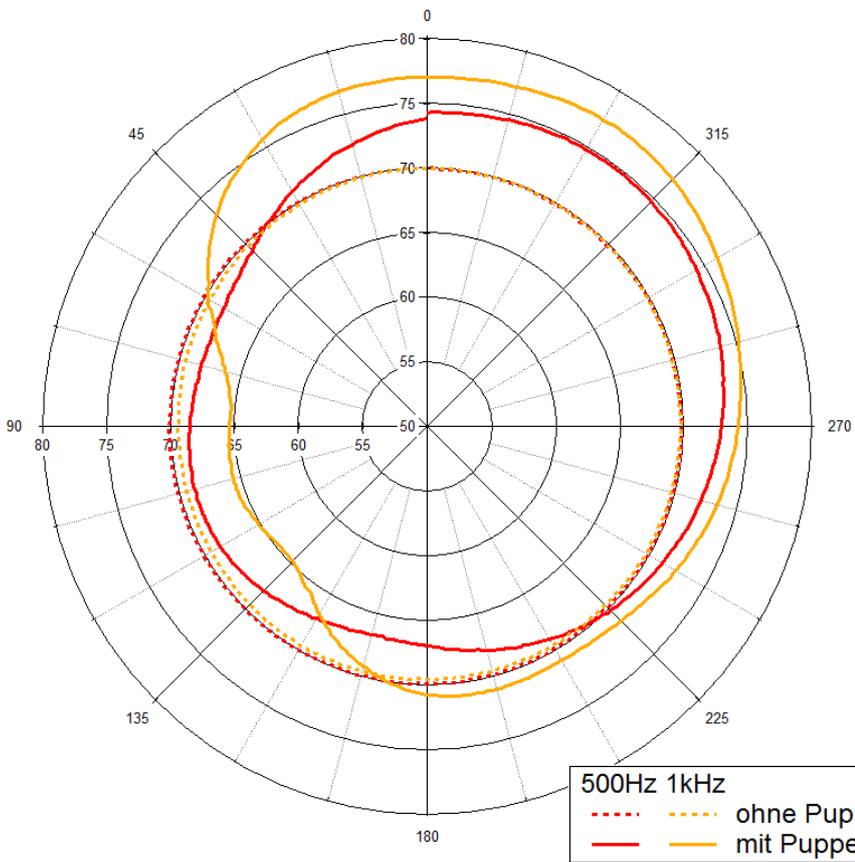


Abb. 22: Winkel-abhängiger Einfluss der Puppe auf die Messung des Schallfeldes bei Reintönen von 500 Hz und 1000 Hz.

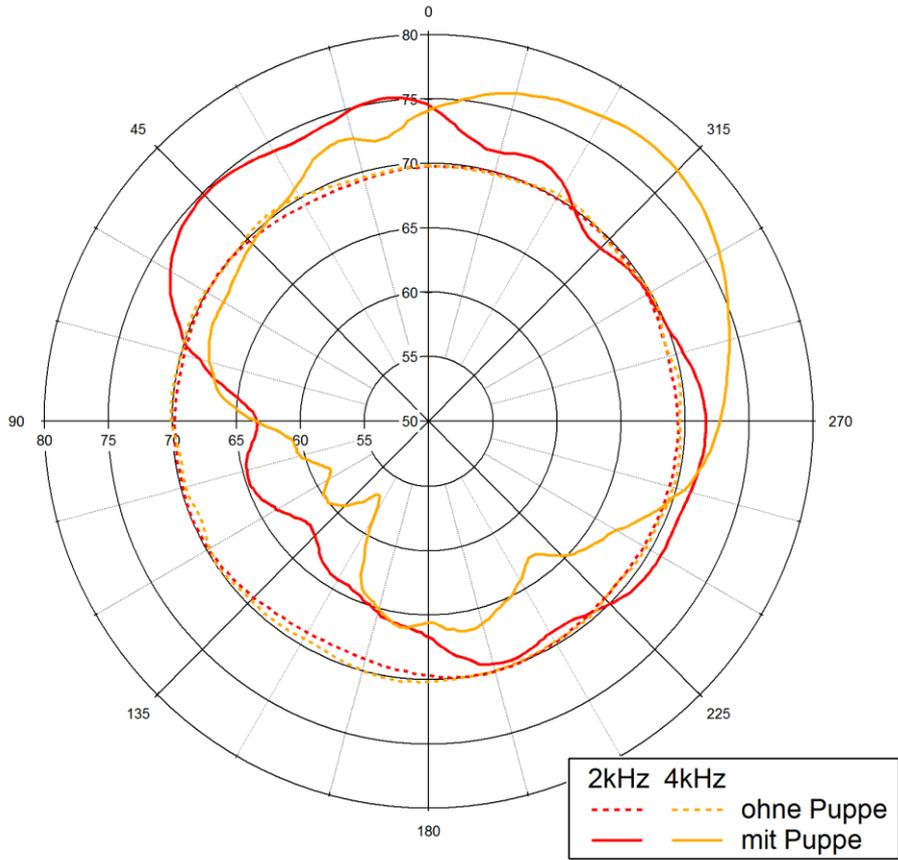


Abb. 23: Winkel-abhängiger Einfluss der Puppe auf die Messung des Schallfeldes bei Reintönen von 2000 Hz und 4000 Hz.

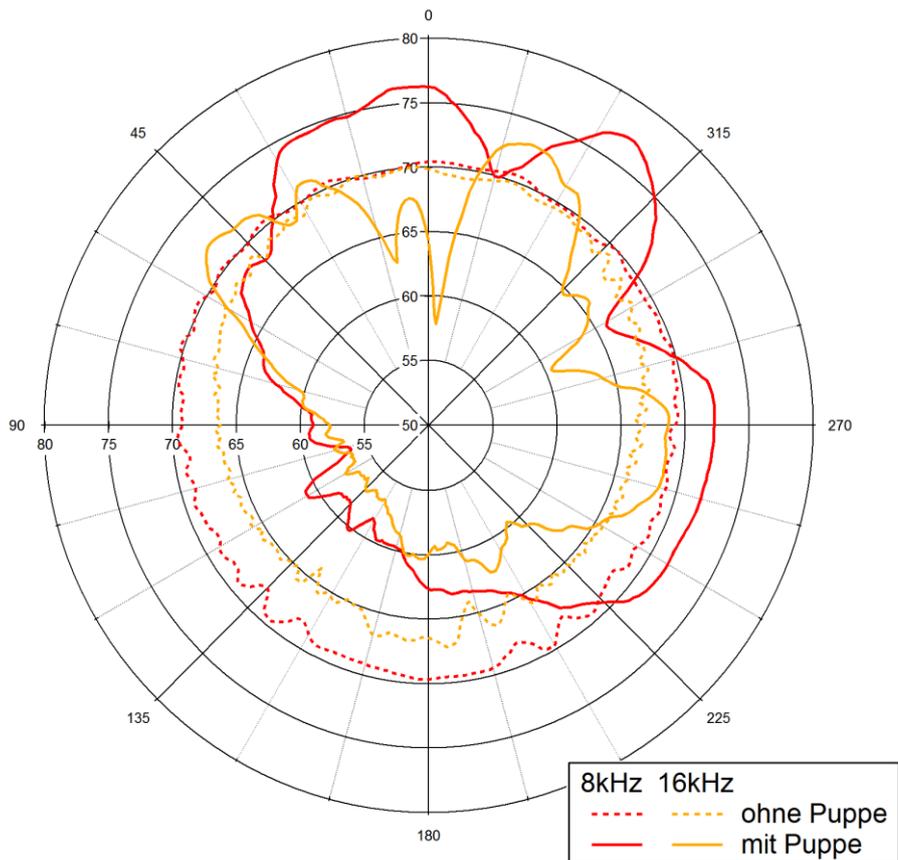


Abb. 24: Winkel-abhängiger Einfluss der Puppe auf die Messung des Schallfeldes bei Reintönen von 8000 Hz und 16000 Hz.

Aus den oben dargestellten Messungen wird deutlich, dass das Messmikrofon an sich unterhalb von 8 kHz eine kaum wahrnehmbare Richtcharakteristik aufweist. Die gestrichelten Messkurven weichen jeweils nur marginal von der 70 dB Linie ab.

Im Vergleich dazu macht sich die Gegenwart der Puppe akustisch bereits ab 250 Hz deutlich bemerkbar. So wird das Schallsignal bereits in der Nullgrad-Richtung um 1.5 dB überschätzt. Wird die Puppe so gedreht, dass sie hinter das Mikrofon zu liegen kommt (sich also die Reflexion mit der einfallenden Welle überlagern), was bei ca. 315° der Fall ist, beträgt die Überhöhung bereits 2.3 dB. Im Gegensatz dazu ist eine deutliche Abschattung feststellbar, wenn die Puppe zwischen das Mikrofon und die Schallquelle gedreht wird. Diese Konstellation liegt bei einem Winkel von ca. 135° vor. Hier wird das 250 Hz-Signal um ca. 2 dB unterschätzt.

Bei höheren Frequenzen nehmen diese Effekte zu. Es wurden bereits ab 500 Hz Überhöhungen von 4.8 dB, bei 1 kHz gar 7.5 dB gemessen. Die grösste Überhöhung aufgrund der Gegenwart der Puppe wurde bei 4 kHz und 322° gemessen. Hier wurde das Signal um 7.7 dB überschätzt.

Dasselbe Experiment wurde auch mit anderen Messgeräten durchgeführt. Insgesamt wurden die folgenden Geräte-Konfigurationen im Freifeld untersucht<sup>1</sup>:

- Schallpegelmesser Larson Davis LD706,  $\frac{3}{8}$ " Mikrofon MPR-001
- Schallpegelmesser NTi Audio XL2,  $\frac{1}{2}$ " Mikrofon M2010
- $\frac{1}{4}$ " Vorverstärker B&K 2633,  $\frac{1}{4}$ " Mikrofon B&K 4135
- $\frac{1}{4}$ " Vorverstärker B&K 2633,  $\frac{1}{2}$ " Mikrofon B&K 4165
- Schallpegelmesser Norsonic 131, Vorverstärker G.R.A.S. 26CB, Mikrofon G.R.A.S. 40BE

In Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass auch die Art der Kleidung einen gewissen - Einfluss auf die gemessene Richtcharakteristik hat. Art und Menge der Kleidungsstücke wurde in den verschiedenen Konfigurationen ebenfalls variiert. Bei den weiter unten dargestellten Resultaten wurde die Puppe jeweils mit einem Baumwoll-Pulli, einem zusätzlichen Kapuzen-Hemd oder zusätzlich einer Lederjacke eingekleidet:



Abb. 25:  $\frac{3}{8}$ "-Mikrofon-Befestigung mit dem Larson Davis LD706



Abb. 26:  $\frac{1}{2}$ "-Mikrofon-Befestigung mit dem NTi Audio XL2

<sup>1</sup> Für die Messwert-Aufzeichnung wurde ein "Audio Precision System One" in Kombination mit einem Norsonic 336 Front-End verwendet



Abb. 27: ¼"-Mikrofon-Befestigung mit dem Norsoinc 131



Abb. 28: ¼"-Mikrofon-Befestigung mit dem B&K 4135 / 4165

Die mit diesen Geräte-Konfiguration und auf der Schulter fixiertem Messmikrofon erzielten Messergebnisse sind auf den folgenden Seiten graphisch zusammengefasst:

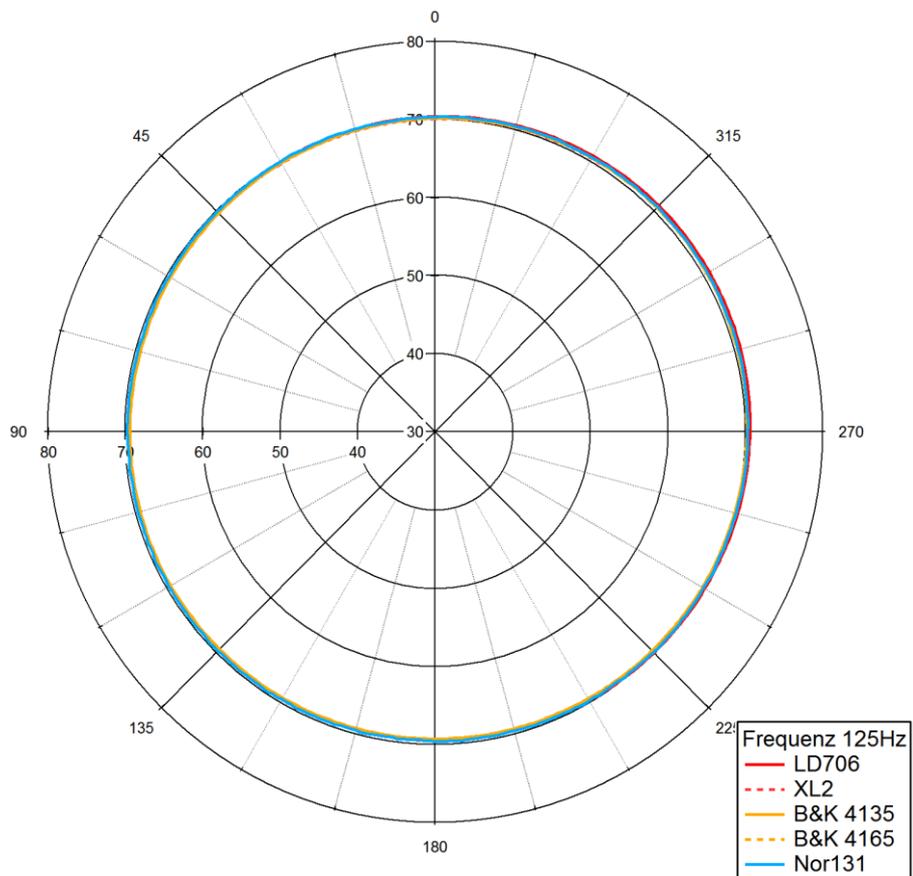


Abb. 29: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 125 Hz.

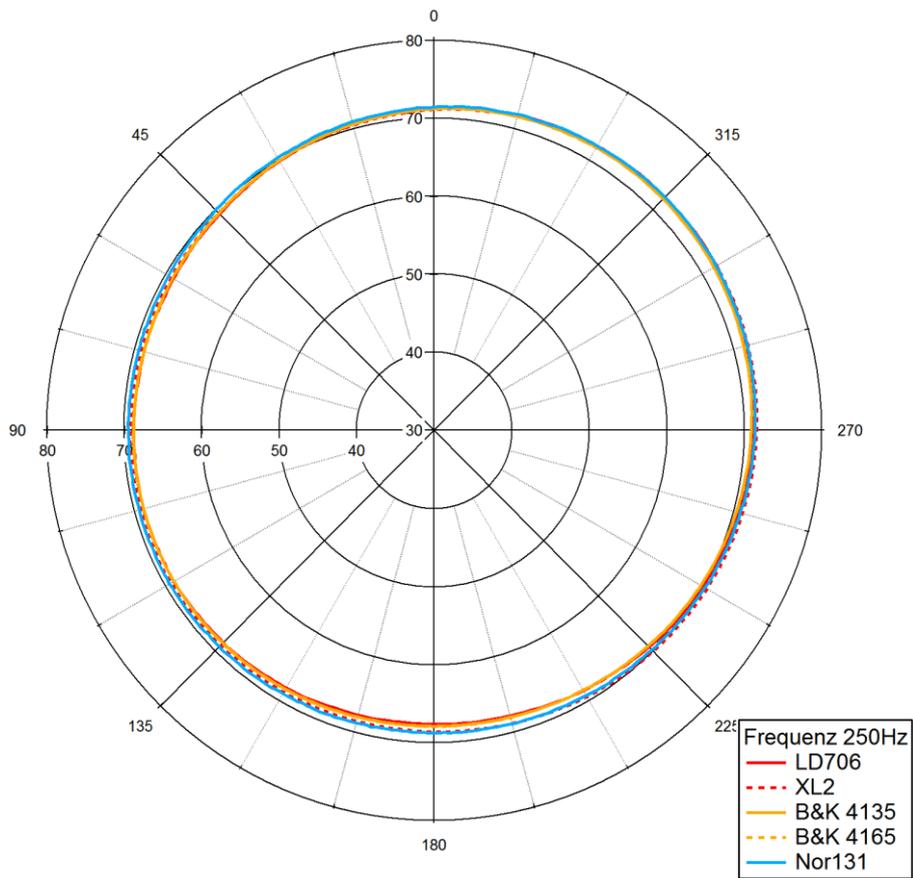


Abb. 30: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 250 Hz.

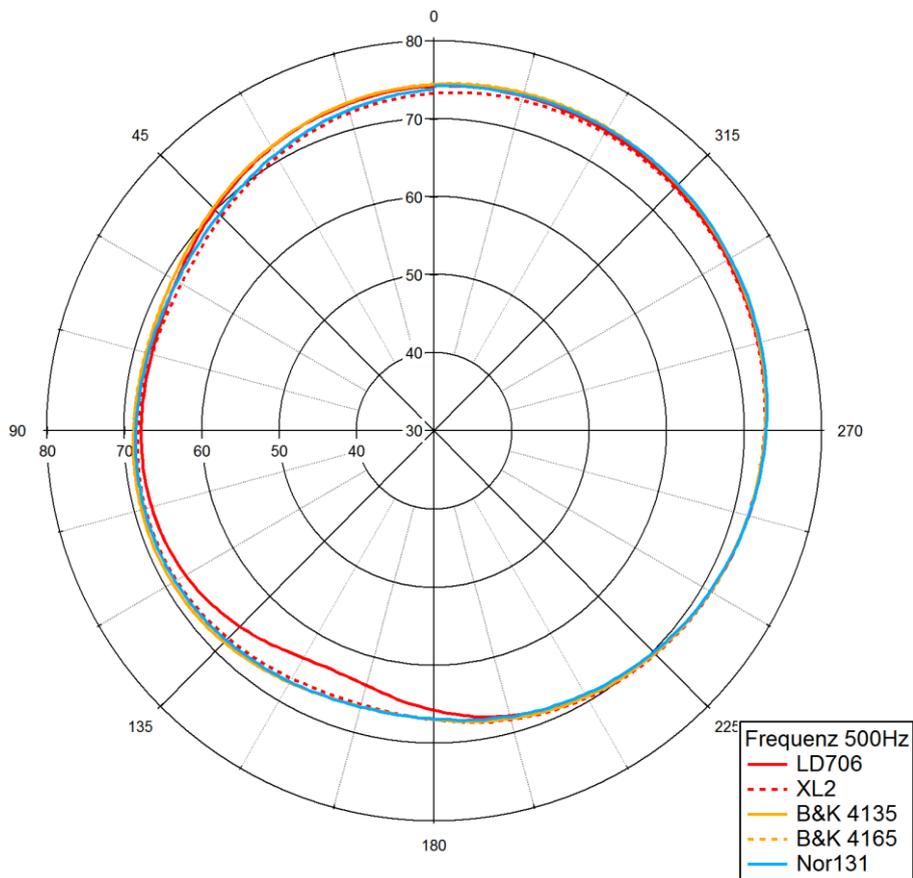


Abb. 31: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 500 Hz.

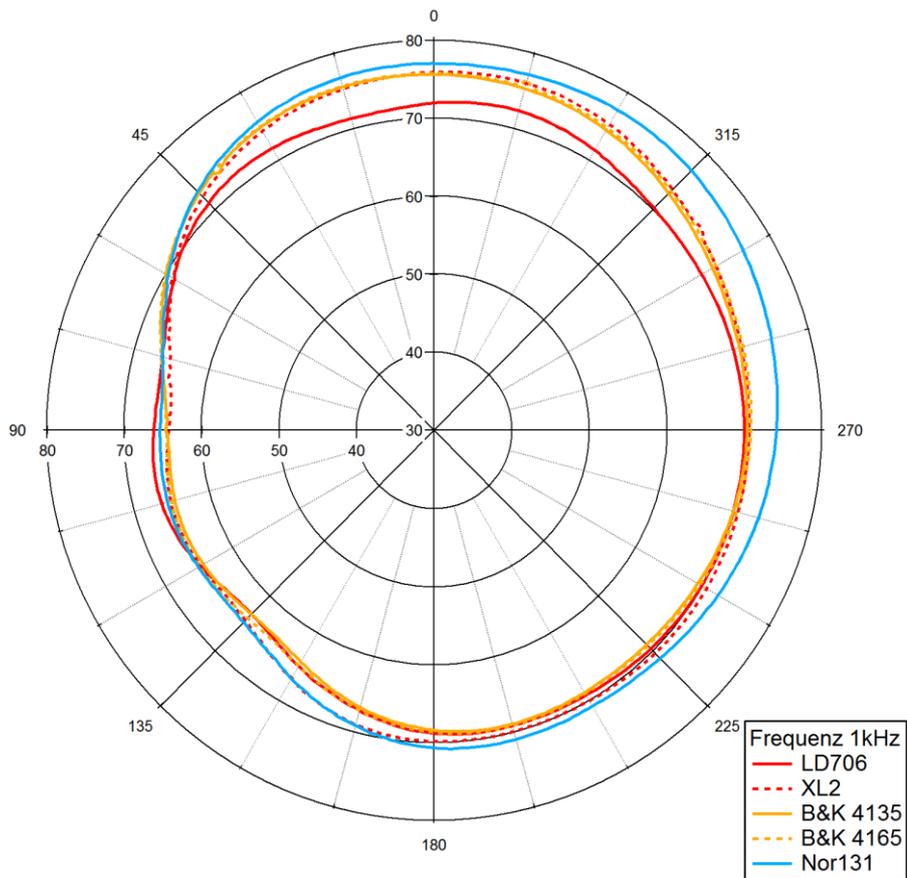


Abb. 32: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 1000 Hz.

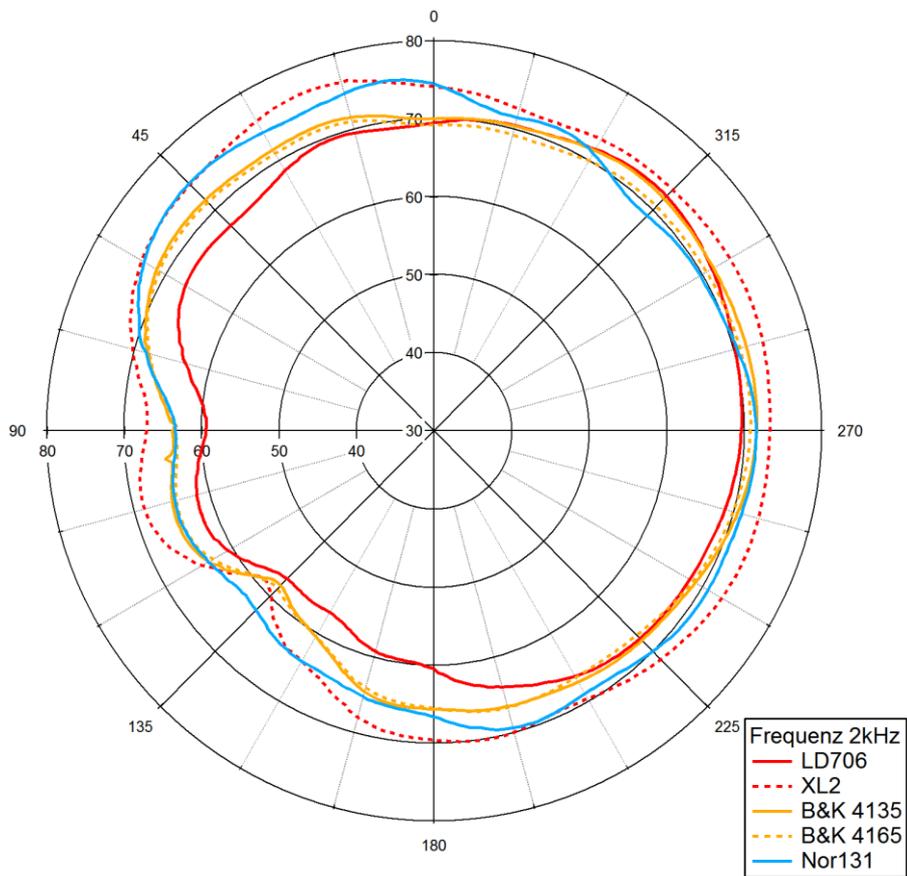


Abb. 33: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 2 kHz.

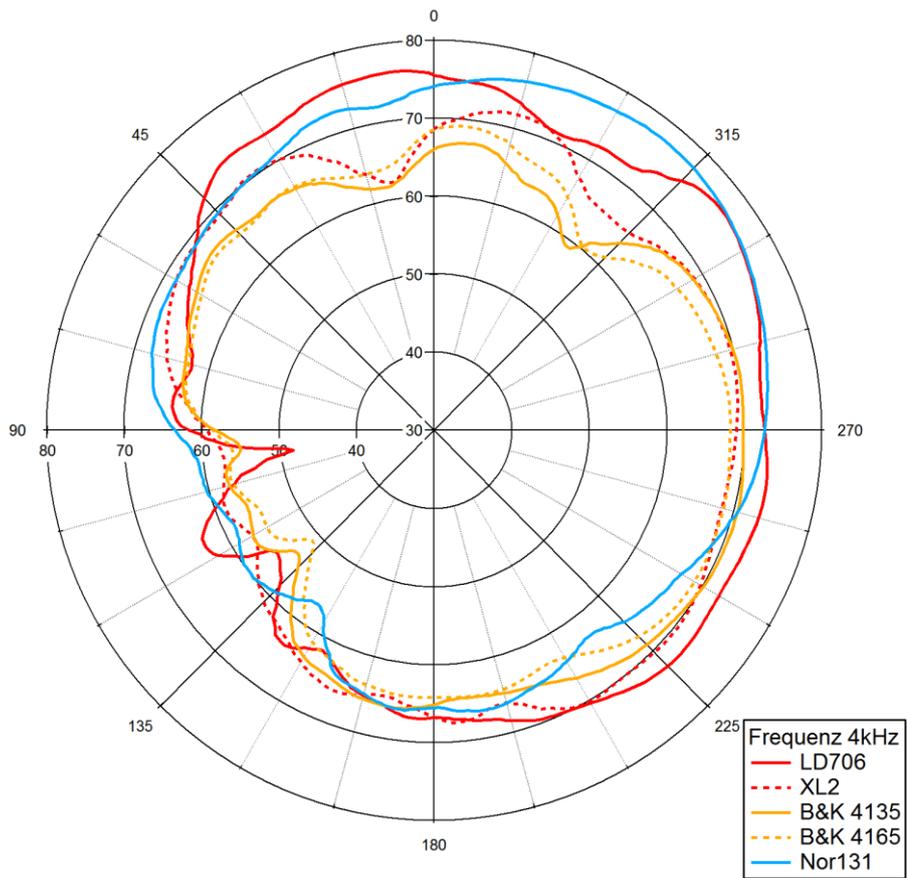


Abb. 34: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 4 kHz.

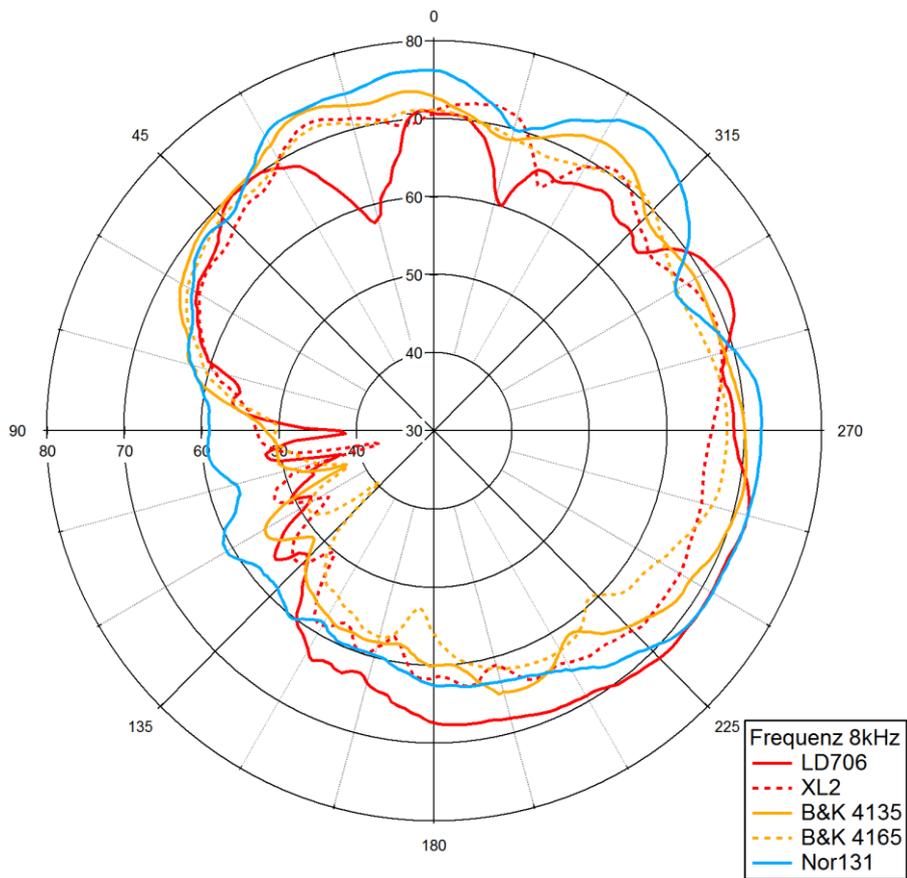


Abb. 35: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 8 kHz.

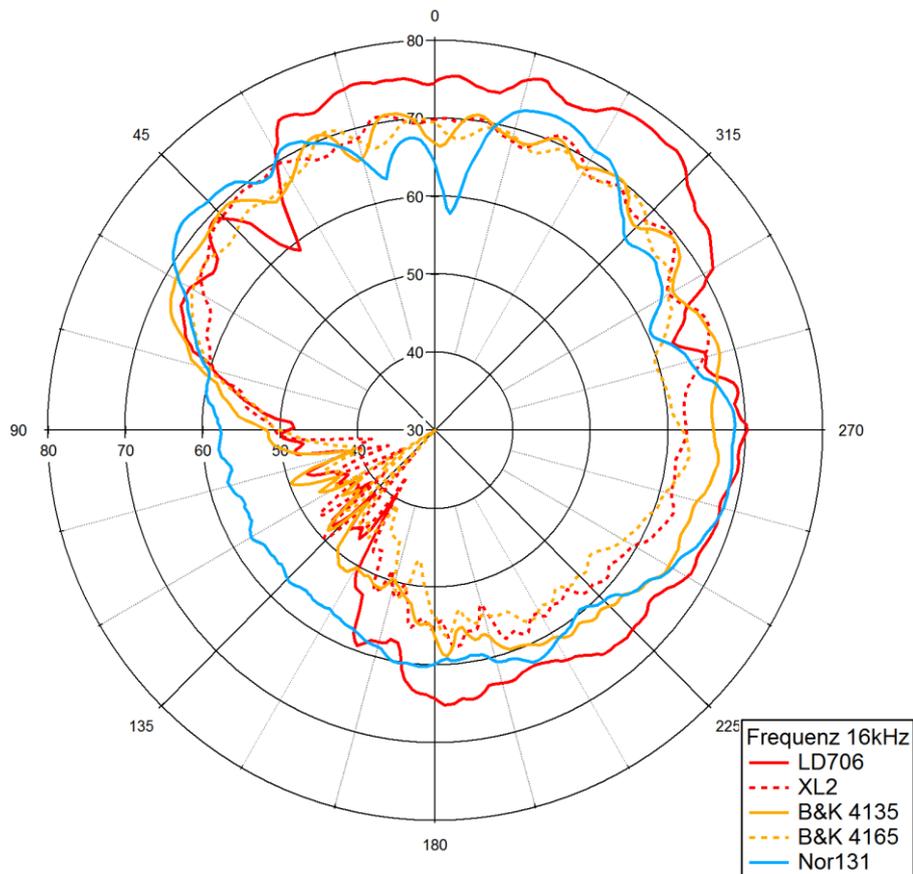


Abb. 36: Winkel-abhängige Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei 16 kHz.

Die oben dargestellten Resultate stellen aus unterschiedlichen Gründen Extrem-Fälle dar. Zum einen wurden die Ergebnisse mit Reintönen ermittelt, für welche aufgrund von Interferenz-Effekten extreme Maxima auftreten können.

Zum anderen stellt das gerichtete Schallfeld im echofreien Raum einen Extrem-Fall dar, welcher in der Realität so nicht anzutreffen ist. Reale Umgebungen (z.B. Clubs) weisen aufgrund der Beschallungs-Situation, sowie der Raumakustik in der Regel viel eher diffusen Charakter auf. Ein stark gerichtetes Schallfeld kann jedoch bei Open-Air-Veranstaltungen vorhanden sein, so dass die im Freifeld gemessenen Überhöhungen zu einem gewissen Grad auch da in ähnlichem Ausmass auftreten können.

Um den über verschiedene Frequenzen gemittelten Effekt abzuschätzen wurden die verschiedenen Einzel-Messungen rechnerisch überlagert um eine Messung von rosa Rauschen zu simulieren. Diese Mittelung wurde sowohl mit linearer Frequenz-Bewertung, sowie mit A-Bewertung vorgenommen. Die mit den unterschiedlichen Geräten erhaltenen Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst:

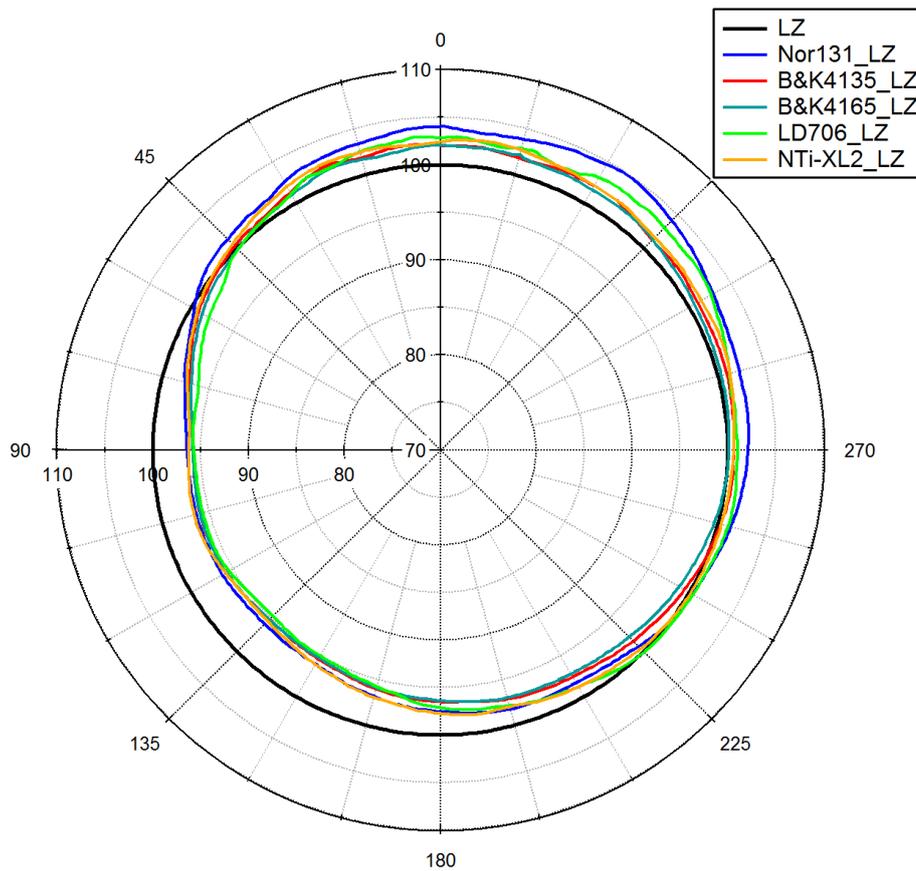


Abb. 37: Überlagerung der Winkel-abhängigen Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei linearer Frequenz-Bewertung (L\_Z).

Man beobachtet, dass bei linearer Frequenz-Bewertung (L\_Z) der gemessene Pegel von rosa Rauschen im Freifeld (bei einer nahezu perfekt gerichteten Schallausbreitung) in Gegenwart der Puppe im Extremfall um bis zu 5 dB überhöht gemessen werden kann, wenn diese als Reflektor wirkt (bei ca. 315°). Im Gegenteil dazu, kann diese bei 135° einen "Schatten" verursachen, wodurch der Pegel um ca. 5 dB unterschätzt wird.

Bei der A-bewerteten Messung werden diese Abweichungen sogar noch etwas grösser, da in diesem Fall die Mittelung bei rosa Rauschen de facto über eine kleinere Anzahl Frequenz-Bänder geschieht (siehe Abb. 38).

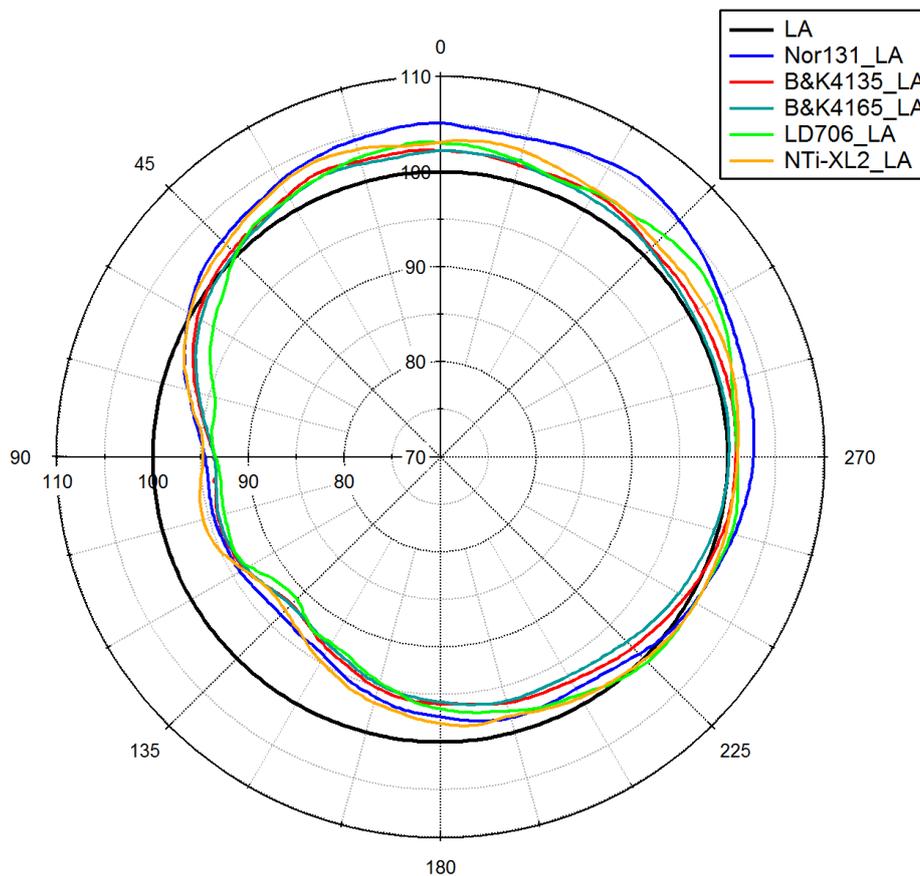


Abb. 38: Überlagerung der Winkel-abhängigen Pegelmessungen mit unterschiedlichen Messgeräten auf Puppe bei A-Bewertung (L<sub>A</sub>).

In vielen Situationen, welche für die SLV relevant sind (Clubs), werden die Leute allerdings mehr oder weniger aus allen Richtungen beschallt. Sei's durch die räumlichen Gegebenheiten, sei's durch die Aufstellung der Lautsprecher. Eine solche Situation entspricht viel eher einem Diffus-Feld, in welchem nun zusätzlich zur spektralen Mittelung noch eine Mittelung über die Winkel stattfindet.

Um diesen Einfluss abzuschätzen, wurde von den oben dargestellten Ergebnissen der (energetische) Mittelwert über alle Winkel errechnet, um die mittlere Abweichung des gemessenen Pegels gegenüber dem effektiv vorhandenen (Diffus-Feld-) Pegel zu bestimmen.

Die Resultate sind nun nur mehr tabellarisch zusammengefasst:

	Z-Bewertung	A-Bewertung
Nor 131	1.04 dB	1.65 dB
B&K 4135	-0.44 dB	-0.55 dB
B&K 4165	-0.75 dB	-0.98 dB
LD 706	0.12 dB	0.00 dB
NTi-XL2	0.02 dB	0.46 dB

Es sei darauf hingewiesen, dass sich aus dieser Zusammenstellung keine Aussagen ableiten lassen bezüglich der Qualität des spezifischen Messgerätes. Vielmehr bleiben die angegebenen Zahlen stark beeinflusst von der jeweilig exakten Konfiguration (relative Positionierung gegenüber der Puppe, Kleidung dieser letzteren, ...). Allerdings können diese Mittelwerte in gewisser Weise als einzelne Versuche betrachtet werden, bei welchen in einem diffusen Schallfeld Pegelmessungen mit einem auf dem Körper getragenen Mess-Mikrophon vorgenommen wurden. Dabei wurden bei rosa Rauschen Differenz gegenüber den tatsächlich vorhandenen Pegeln in der Größenordnung von bis zu 1.7 dB ermittelt.

Wir haben also im Extremfall des akustischen Freifelds festgestellt, dass mit einem auf der Schulter befestigten Messmikrophon durchgeführte Messungen stark vom effektiv vorhanden Schallpegel abweichen können. Bei einer gerichteten Beschallung mit rosa Rauschen kann die A-bewertete Beschallung um bis zu 5 dB überschätzt oder (durch Abschattung) um 8 dB

unterschätzt werden. Diese Differenzen reduzieren sich bei einer ungerichteten Beschallung auf ca. 1.7 dB. Es ist jedoch zu erwarten, dass das menschliche Ohr ähnlichen Gegebenheiten ausgesetzt sein wird. Auch unser Ohr ist nicht dem Pegel ausgesetzt, welcher bei einer Hindernisfreien Ausbreitung vorliegen würde, sondern dem Pegel, welcher sich durch Abschattung und Überlagerung von Reflexionen am Ohr ergeben. Die durch die Schultermessung erhaltenen Resultate entsprechen daher wohl eher der Energiedosis, welcher das Gehör bei der Veranstaltung ausgesetzt ist.

#### 4 Messvergleiche Diffusfeld (Club)

Die vorhergehenden Messungen wurden in einer extremen Umgebung (Freifeld mit einer gerichteten Schallausbreitung) durchgeführt. Durch Mittelung wurde abgeleitet, was in einer realistischen Umgebung zu erwarten wäre. Diese Abschätzung wird im vorliegenden Kapitel mit Messungen verglichen, welche in einem Club durchgeführt wurden.



Abb. 39: Innenansicht des (leeren) Clubs, in welchem Messungen vorgenommen wurden.

Bei diesen Messungen ging es einerseits darum, abzuschätzen, wie gross die Pegelvariation im Raum ist. Andererseits sollten Diskrepanzen aufgezeigt werden, welche zwischen Messungen auftreten, die mit einem Klasse 1 Messgerät auf einem Stativ durchgeführt werden gegenüber von sogenannten "verdeckten" Messungen, bei welchen das Mikrophon auf der Schulter befestigt ist.

Das Lokal wird mit insgesamt 8 Lautsprechern beschallt. Eine Übersichtszeichnung ist auf Abb. 40 ersichtlich. Für die Messungen wurde über die Sound-Anlage des Clubs eine immer gleiche Musik-Sequenz unter identischen Bedingungen abgespielt. Der erzeugte Pegel wurde auf der Höhe des Mischpultes mit einem fixen Referenz-Schallpegelmessgerät überwacht. Im Lokal wurden 16 Messpunkte markiert und die dabei vorliegenden Pegel je mit drei unterschiedlichen Messgeräte-Konfigurationen in vier unterschiedlichen Orientierungen akustisch gemessen.

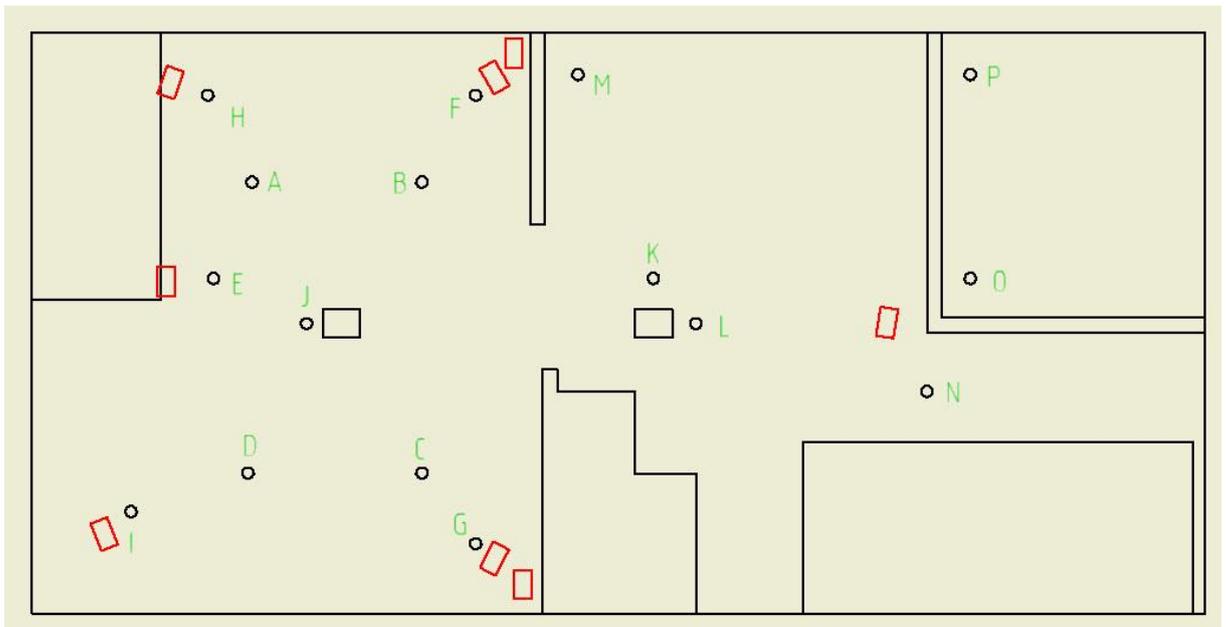


Abb. 40: Skizze des Club-Raums, in welchem die Messungen vorgenommen wurden. Die roten Rechtecke bezeichnen die Lautsprecher-Standorte, die mit Buchstaben markierten Punkte entsprechen den Messpositionen.

Die Resultate sind auf Abb. 41 zusammengestellt. Zunächst fällt auf, dass deutliche Pegel-Variationen im Lokal gemessen werden. So betragen die im Hauptteil des Clubs (Messpunkte A – J) gemessenen Pegel gut 5 dB mehr als die im hinteren Teil welche nur mit einem Lautsprecher beschallt wird (Messpunkte K – N). Schliesslich gibt es eine "Ausgleichs-Zone" welche durch Wände in Leichtbauweise (mit Fenstern) abgetrennt ist. Hier wurden 15 dB weniger gemessen, als an den lautesten Punkten (E und H, direkt vor einem Lautsprecher).

Des Weiteren lässt sich auf Abb. 41 sehen, dass die Pegel, welche durch das Messgerät ermittelt wurden, welches auf der Schulter befestigt war (blaue Balken) systematisch für alle Messpunkte höher ausfallen, als die entsprechenden Messungen des handgehaltenen resp. auf dem Stativ befestigten Messgerät. Im Mittel betrug bei diesen Messungen die durch die Befestigung auf der Schulter erzeugte Pegel-Erhöhung 2.0 dB. Dies liegt in derselben Grössenordnung, wie die im Freifeld ermittelte Abschätzung von 1.7 dB (für ein perfekt diffuses Schallfeld).

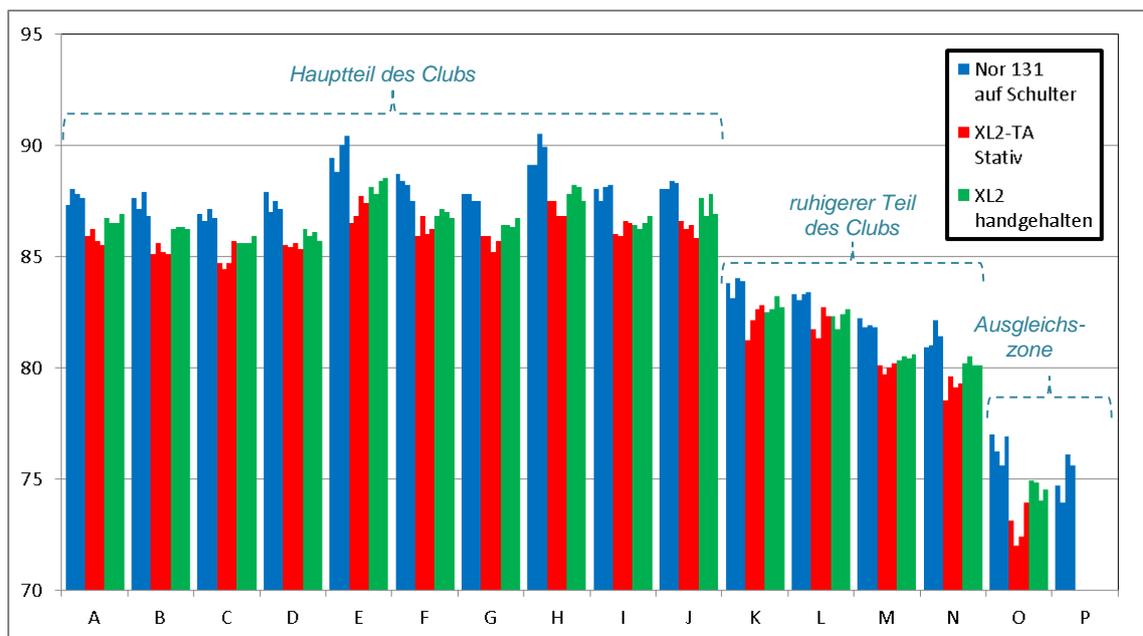


Abb. 41: Die in den Punkten A-P gemessenen Schallpegel mit drei unterschiedlichen Geräte-Konfigurationen. Für jedes Gerät sind die Messungen in den Richtungen (0°, 90°, 180°, 270°) jeweils einzeln aufgetragen.

Diese Beobachtung wurde durch eine zweite Mess-Serie bestätigt. Hier wurde in nur einem Messpunkt (D) mit unterschiedlichen Geräte-Konfigurationen der Schallpegel gemessen. Dabei wurden drei unterschiedliche Testsignale verwendet. Zum einen wurde ein rosa Rauschen auf

die Verstärker-Anlage des Clubs eingespeist. Aufgrund des Frequenzgangs der Lautsprecher und der Geräte-Einstellungen wurden dabei jedoch die höheren Frequenzen leicht abgeschwächt. Um dies zu kompensieren wurde ein "korrigiertes" rosa Rauschen erzeugt, welches im Messpunkt ein nahezu flaches Spektrum aufwies. Schliesslich verwendeten wir auch wieder die Musik-Sequenzen, welche bereits bei den oben dargestellten Messungen verwendet worden waren.

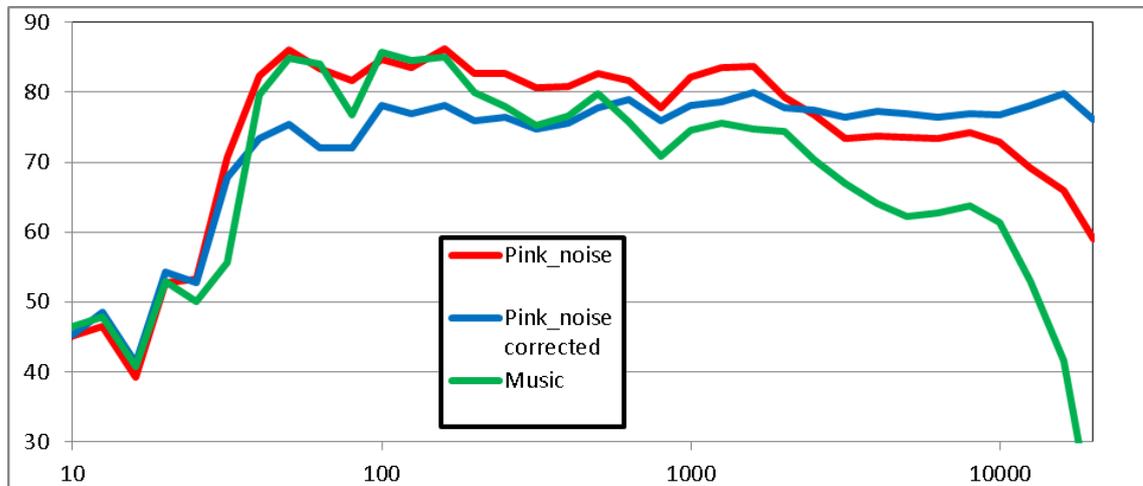


Abb. 42: Die verschiedenen Spektren, mit denen unterschiedliche Messgeräte-Konfigurationen beschallt wurden.

Die Ergebnisse sind auf der folgenden Abbildung zusammengefasst:

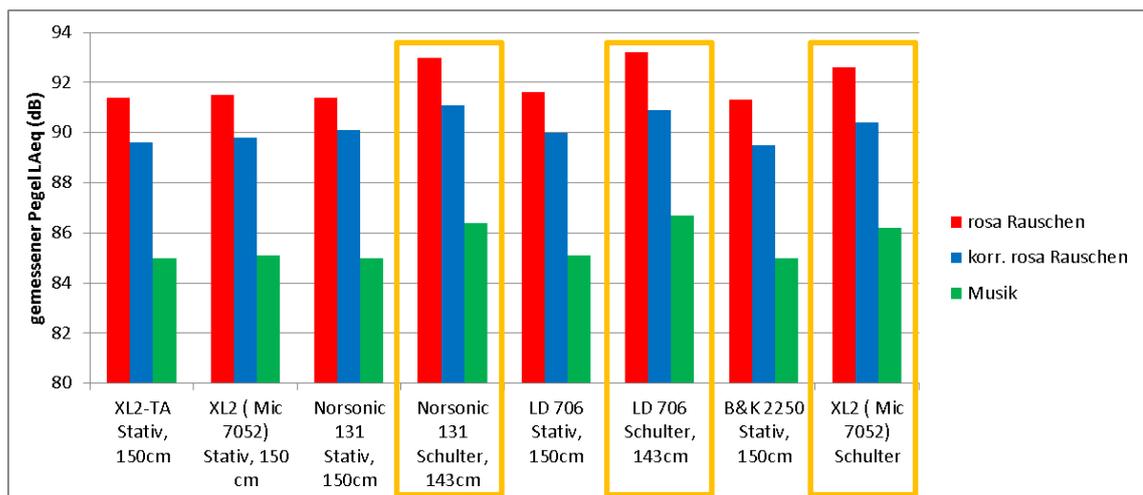


Abb. 43: Die im Punkt D mit unterschiedlichen Geräte-Konfigurationen gemessenen Schallpegel (LAeq) für die Spektren der Abb. 42.

Es fällt auf, dass für alle Messkonfigurationen, bei denen ein Messmikrophon auf der Schulter befestigt worden war, eine deutliche Pegel-Steigerung (je nach Spektrum von 1.3 bis 1.8 dB) beobachtet wurde. Diskrepanzen in dieser Grössenordnung werden zwangsläufig auftreten, wenn verdeckte Messungen der Vollzugsbehörden verglichen werden mit Messresultaten der Veranstalter, wenn letztere mit Messmikrophonen ermittelt wurden, die zu jeder Zeit einen grossen Abstand von Personen hatten (e.g. an der Decke befestigte Einrichtungen). Allerdings sind die Ohren der Konzertbesucher auch den (durch Reflexionen) erhöhten Pegel ausgesetzt.

Bei den im Club durchgeführten Messungen konnte auch bestätigt werden, dass sich durch Manipulationen (blasen, rempeln, ...) leicht Übersteuerungen der Messgeräte erzeugen lassen. Nicht nur aus diesem Grund ist daher unserer Ansicht nach die Anforderung an eine "ununterbrochene" Messung von 1h äusserst problematisch für den Vollzug.

## 6 Fazit

In dieser Arbeit sollten offene Fragen bezüglich Methodik und Genauigkeit der Schallmessungen, wie sie im Zusammenhang mit der Schall- und Laserverordnung durchgeführt werden, geklärt werden. Insbesondere sollte durch Umfragen und begleitete Messeinsätze die angewandte Praxis in Kenntnis gebracht werden. Wenn möglich, sollten auch Empfehlungen erarbeitet werden, welche zu verbesserten Messungen beim Vollzug führen. Des Weiteren sollte untersucht werden, welche Messunsicherheit den Ergebnissen der Vollzugsbehörden realistischerweise zugeordnet werden muss.

Gemäss Verordnung soll die Schallimmission an dem Ort ermittelt werden, an welchem das Publikum dem Schall am stärksten ausgesetzt ist. Aus den Umfragen und Beobachtungen vor Ort zeigte sich, dass eine Mehrzahl der Vollzugsbehörden verdeckte Messungen (mit einem auf der Schulter befestigten Messmikrofon) durchführt. Diese werden oft so vorgenommen, dass die Schallpegelmessung nicht allzu sehr auffällt. Um weniger aufzufallen wird häufig nicht zwingend am lautesten Ort gemessen und der maximale Pegel dadurch tendenziell unterschätzt. In einem Club wurde die ortsabhängige Pegel-Verteilung (bei einer gegebenen Beschallung) gemessen und auf der Tanzfläche im Hauptteil räumliche Fluktuationen von ca. 2 dB festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass in einer realen Mess-Situation der ermittelte Pegel um die gleiche Grössenordnung unter dem maximalen Pegel liegen kann. Durch einen ungünstig gewählten Messort kann der relevante Pegel nur unter- nicht überschätzt werden.

Schallmessungen sind heikel. Sie können durch Pfeife, Schreie oder Blasen in unmittelbarer Nähe zum Mikrofon relativ leicht verfälscht werden. Um gültige Messintervalle erfassen zu können (die Verordnung verlangt eine Mittelung über "60 Minuten ohne Unterbruch") muss darauf geachtet werden, dass die Messung möglichst diskret vorgenommen wird. Eine offene Messung mit dem Handgerät scheint daher aus praktischen Gründen ungeeignet. Es stellt sich die Frage, wie zuverlässig die Ergebnisse sind, welche aus einer verdeckten Ermittlung resultieren.

Es wurde auf unterschiedliche Arten untersucht, wie stark sich die Messergebnisse verändern, wenn das Messmikrofon auf der Schulter befestigt wird. Reflexionen am Körper führen dazu, dass in Extrem-Situationen der vom Mikrofon gemessene Schallpegel deutlich höher ausfällt, als der effektiv vorhandene Freifeld-Pegel. Eine solche Extrem-Situation tritt bei einer stark gerichteten Schallausbreitung im akustischen Freifeld auf. Im echofreien Raum des Metas wurden aufgrund dieser Reflexionen am Körper bei einer Beschallung mit Reintönen von 4 kHz und einer optimalen Einfallrichtung bis zu 7,7 dB mehr gemessen als bei der ungestörten Ausbreitung. Allerdings ist in der Praxis nicht mit solchen Abweichungen zu rechnen. Zum einen ist davon auszugehen, dass an den lautesten Orten oft mehrere Quellen zu berücksichtigen sind, so dass das Schallfeld einen eher ungerichteten oder gar diffusen Charakter annimmt. Während nun für einzelne Richtungen durch die Reflexion eine Überbewertung stattfindet, wird der Schall aus anderen Richtungen tendenziell eher abgeschattet. Ausserdem ist dieser Effekt nur bei Wellenlängen ausgeprägt, die bedeutend kleiner sind als die relevanten geometrischen Strukturen. Daher beschränkt sich dieser Einfluss in der Praxis (Beschallung mit Musik aus vielen Richtungen) durch eine spektrale und räumliche Mittelung auf ca. 2 dB. Dies wurde sowohl durch eine Mittelung der Messwerte im Freifeld, als auch durch direkte Messvergleiche in einem Club demonstriert.

Dabei ist zu bemerken, dass diese Differenz nicht als Messfehler bei der Ermittlung zu interpretieren ist. Vielmehr muss erwartet werden, dass auch die Ohren des Publikums Schalldruckpegeln ausgesetzt sind, welche gegenüber dem Freifeld-Pegel um diese Grössenordnung erhöht sind. Allerdings kann dieser Effekt wahrscheinlich gewisse Diskrepanzen erklären, welche zwischen einer (optimierten) Messung durch den Veranstalter (mit einem an der Decke befestigten Mikrofon) und einer (verdeckten) Ermittlung auftreten können.

Neben dem oben beschriebenen Einfluss der Körper-Reflexionen bei verdeckten Ermittlungen gibt es andere Einflussfaktoren, welche als Messunsicherheit zu berücksichtigen sind. In einer separaten Analyse (basierend auf den Toleranzen der entsprechenden Messgeräte-Norm) wurde für diese Anwendung die Messunsicherheit ( $k=2$ ) auf 1,5 dB (für Klasse 1-Geräte) resp. 2,8 dB (bei Klasse 2-Geräten) geschätzt. Wenn der ermittelte Messwert den zulässigen Maximalpegel um mehr als diese Unsicherheit übersteigt, ist daher davon auszugehen, dass bestimmt auch Publikums-Ohren einem höheren Schallpegel ausgesetzt sind.

Die erforderliche Messzeit wird von vielen Vollzugsbehörden als zu lange empfunden. Zum einen führt diese lange Messdauer dazu, dass das Risiko ungültiger Messwerte (Verfälschungen durch Rempelen, Berührungen, Schreie, Pfeife, etc.) wächst. Zum andern können so mit vertretbarem

Aufwand nur wenige Kontrollen durchgeführt werden. Die SLV verlangt eine Mittelwertbildung über "60 Minuten ohne Unterbruch". Dabei wird in der [Vollzugshilfe](#) darauf hingewiesen, dass die effektive Messzeit durchaus kürzer sein kann, wenn eine Überschreitung des Stundenpegels rechnerisch extrapoliert werden kann.

Eine solche Rechnung kann beispielsweise wie folgt vorgenommen werden:

$$L_{eq,1h} - L_{eq}(t) = 10 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{1}{1h} \cdot \left[ t + (1h - t) \cdot 10^{\frac{\Delta L_{eq}}{10}} \right] \right\}$$

Mit dieser Gleichung kann abgeschätzt werden, um wieviel sich der Stundenpegel  $L_{eq,1h}$  gegenüber dem momentanen Anzeigewert  $L_{eq}(t)$  noch verändern wird. Diese Differenz hängt davon ab, wie lange bereits gemessen wurde (t) und um wieviel der Pegel  $\Delta L_{eq}$  nun im Mittel abgesenkt wird.

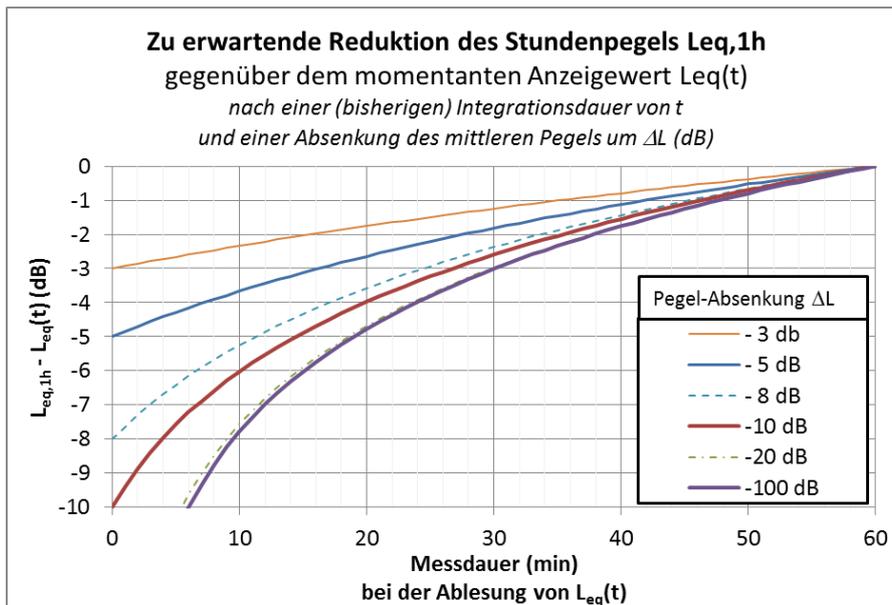


Abb. 46: Abweichung des Stundenpegels  $L_{eq,1h}$  vom bisherig angezeigten Wert  $L_{eq}(t)$  wenn zum Zeitpunkt t der Pegel um  $\Delta L$  abgesenkt wird. Man sieht, dass nach einer Messdauer von 30 Minuten der Stundenpegel nur noch um 3 dB sinken kann (wenn der Pegel um 20 dB oder mehr reduziert wird). Wird nach 10 Minuten eine Pegelüberschreitung von 6 dB festgestellt, muss der mittlere Pegel mindestens um 10 dB reduziert werden, damit der Stundenpegel eingehalten wird.

Je nachdem wie gravierend die gemessenen Überschreitungen sind, kann die Messung früher abgebrochen werden.

Einige Vollzugsbehörden äusserten bei der Umfrage oder bei der Zusammenarbeit den Wunsch, dass die A-Bewertung bei der Festlegung Grenzwerte hinterfragt werden sollte. Prinzipiell entspricht diese Filterung nämlich gleichen Lautstärke-Wahrnehmungen bei tiefen Pegeln, während für die Schädigung des Gehörs die hohen Pegel limitiert werden müssen. Ausserdem wurde bemängelt, diese Art der Ermittlung fördere die Erzeugung satterer Bässe (welche den Messwert kaum beeinflussen), was in der Folge vermehrt zu Lärmklagen führt.

Diese Argumentation ist durchaus nachvollziehbar und es konnte bestätigt werden, dass die A- und C-bewerteten Messergebnisse nicht korrelieren. Auf die Frage, welche Frequenzbewertung bei der Beurteilung des Risikos einer Gehörschädigung zu berücksichtigen sei, wurde in dieser Arbeit nicht eingegangen.